

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

**Návrh nové technologie opracování odlitků  
z manganových ocelí ve firmě Slévárny  
Třinec, a. s.**

***New Machining Technology Proposal of  
Manganese Steel Cast in Slevarny Trinec, a. s.***

Student:

Bc. Josef Cieslar

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Robert Čep Ph.D.

Ostrava 2010

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění a montáže

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Josef Cieslar**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie  
Téma: **Návrh nové technologie opracování odlitků z manganových ocelí ve firmě Slévárny Třinec, a.s.**  
**New Machining Technology Proposal of Manganese Steel Cast in Slevarny Trinec, a.s.**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod od problematiky.
2. Rozbor stávající technologie.
3. Zavedení nových řezných materiálů.
4. Měření parametrů nové technologie.
5. Porovnání původních a nových řezných materiálů.
6. Technicko ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno : MM Publishing Praha, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.  
WHITNEY, E. Dow. *Ceramics Cutting Tools – Materials, Development and Performance*. Gainesville, Florida : Noyes Publication New Jersey, 1994, 350 p. ISBN 0-8155-1355-0.  
ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.  
VASILKO Karol. *Analytická teória trieskového obrábania*. Prešov : COFIN Prešov, 2007. 338 s. ISBN 978-80-8073-759-7.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Robert Čep, Ph.D.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010



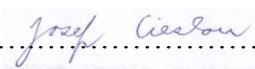
prof. Dr. Ing. Josef Brychta  
vedoucí katedry

prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....21. 5. 2010.....

..........

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.

- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst.3)

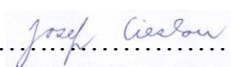
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.

- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.

- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě.....21.5.2010.....

.....  
.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Josef Cieslar

Adresa trvalého pobytu autora práce: Nýdek 518, Bystřice, 739 95

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

CIESLAR, J. Návrh nové technologie opracování odlitků z manganových ocelí ve firmě Slévárny Třinec, a.s. Ostrava: katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2010, 67 s., Diplomová práce, vedoucí Čep, R.

V diplomové práci se zabývám opracování odlitků z manganové oceli. Hodnotím Mn ocel z hlediska struktury a její vlastnosti vytvrzovat při obrábění (soustružení, frézování), což vyžaduje speciální metody při opracování.

Obecně se zmiňuji o soustružení a frézování, kde jsem se soustředil hlavně na použití nejvhodnějších břitových destiček do obráběcích strojů. Popisuji výrobu destiček ze SK několikrát povlakovaných, které se nejlépe osvědčily při opracování konkrétních výrobků. Jedná se o srdcovky pro železnice a o kužely drtících mlýnů ve Slévárnách Třinec.

Z parametrů použitých břitových destiček firmy PRAMET, které jsou z kubických karbidů a jsou opatřeny multivrstevnatým nanostrukturním povlakem, a z naměřených hodnot při frézování a soustružení jsem vypočítal náklady na frézování a soustružení. Tyto výsledky jsem porovnal z dřívějšími hodnotami při použití jiných břitových destiček z CBN a SK a stanovil úspory při novém způsobu opracování.

## ANNOTATION OF THE DIPLOMA WORK

CIESLAR, J. New Machining Technology Propsal of Manganese Steel Cast in Slevarny Třinec, a.s., Ostrava: Institute of Machining and Assembly, Faculty of Mechanical Engineering VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2010, 67 p. Diploma Work, supervised by: Čep, R.

In my diploma work I'm dealing with machining of Manganese Steel castings. I examined manganese steal according too its structure mentioned its ability of hardening dutiny machining (turning, milling), Which require special's methods during machinig operations.

Generally described about milling and turning. I focused on the using of the most conveyent cutting tips for machine tools in the purpose to have

machining operations. I described the ways machining from SK with several times plating, which were the most convenient, which machining specific products. In this case it were frogs for railways and cones for crushers produced in Slevarny Trinec, a. s.

Based on parameter tool tips made by PRAMET TOOLS s.r.o. from cubical nitrid borid with several times plating and nanostructural coat. I calculated the costs of milling and turning from used data during machining. I compared these results with former results which used others cutting tips from CBN and SK and appoint economized with new methods of machining.

## OBSAH:

1	ÚVOD .....	10
1.1	Přiblížení obsahu diplomové práce .....	10
1.2	Slévárenská výroba v Třinci .....	10
1.3	Složení ocelí pro odlitky .....	12
1.4	Manganové ocele .....	13
2	OPRACOVÁNÍ MANGANOVÝCH OCELÍ .....	17
2.1	Frézování .....	17
2.2	Frézky .....	18
2.3	Frézy .....	19
2.4	Soustružení .....	22
2.5	Soustruhy .....	22
2.6	Soustružnické nože .....	23
2.7	Vyměnitelné destičky frézovacích hlav a soustružnických nožů .....	24
2.7.1	Rychlořezné oceli (RO) .....	24
2.7.2	Slinuté karbidy (SK) .....	24
2.7.2.1	Výroba slinutých karbidů .....	25
2.7.2.2	Vlastnosti SK – fyzikální .....	25
2.7.2.3	Povlakované slinuté karbidy .....	26
2.7.2.3.1	Vývojové stupně PSK .....	26
2.7.2.3.2	Metody povlakování .....	26
2.7.2.3.3	Vlastnosti .....	27
2.7.2.4	Užití SK v oblasti technologie obrábění .....	28
2.7.2.4.1	Opotřebení řezného nástroje .....	28
2.7.2.4.2	Trvanlivost a životnost řezného nástroje .....	28
2.7.2.4.3	Řezivost nástroje .....	29
2.7.2.4.4	Obrobitelnost materiálu .....	29
2.7.2.4.5	Hodnocení efektivnosti řezných nástrojů .....	29
2.7.2.5	Nové trendy vývoje tenkých vrstev PVD a CVD technologií pro řezné nástroje .....	29
2.7.2.5.1	Současné průmyslově aplikovaná vrstvy .....	30
2.7.2.5.2	Multivrstvy .....	32
2.7.2.5.3	Nanokrystalické kompozity .....	33
2.7.2.5.4	Pokroky v depozičních technologiích .....	34

2.7.3	Cermety.....	34
2.7.4	Řezná keramika.....	34
2.7.5	Syntetické velmi tvrdé materiály .....	35
3	TECHNOLOGIE OPRACOVÁNÍ MANGANOVÝCH OCELÍ.....	36
3.1	Frézování .....	36
3.1.1	Současné a starší technologie obrábění na frézách .....	36
3.1.2	Nové technologie frézování .....	38
3.1.3	Vlastní sledování frézování srdcovek.....	39
3.1.4	Hodnocení efektivnosti řezných nástrojů (frézovací hlavy) .....	44
3.1.5	Hodnocení současných a dřívějších způsobů obrábění .....	45
3.1.6	Hodnocení nových způsobů obrábění .....	46
3.2	Soustružení .....	47
3.2.1	Soustružení podle současné a starší technologie.....	47
3.2.2	Soustružení kuželů podle nové technologie.....	49
3.2.3	Vlastní sledování soustružení drtících kuželů.....	50
3.2.4	Hodnocení efektivnosti řezných nástrojů (soustružnického nože).....	54
3.2.5	Hodnocení současných a dřívějších způsobů obrábění .....	55
3.2.6	Hodnocení nových způsobů obrábění .....	57
3.3	Porovnání nákladů frézování a soustružení nových a současných způsobů obrábění .....	59
4	ZÁVĚR .....	60
5	LITERATURA .....	62
6	PŘÍLOHY ..... Chyba! Záložka není definována.	



### **Seznam použitých zkratek:**

$B_0$  – konstantní šířka fréz. (soustruž.) plochy [cm]

CVD – chemické povlakování

PCVD – plazmaticky aktivovaná CVD metoda

MWPCVD – mikrovlnná plazmatická CVD metoda

MTCVD – středně teplotní CVD metoda

$D$  – průměr obrobku, frézky, nože [mm]

$n$  – počet otáček za minutu

$N_e$  – náklady na frézování, soustružení na jednotku odebraného materiálu [ $Kč \cdot dm^{-3}$ ]

$N_p$  – pořizovací cena destičky [Kč]

$U$  – úběr obráběného materiálu [ $cm^3 \cdot min^{-1}$ ]

PKBN, KBN, CBN – polykrystalický kubický nitrid boru

PKD – polykrystalický kubický diamant

PSK – povlakované slinuté karbidy

PVD – fyzikální povlakování

$q$  – počet ostří destičky

RO – rychlořezné oceli

ŘK – řezná keramika

SK – slinuté karbidy

$s_o$  – posuv na otáčku [ $mm \cdot ot^{-1}$ ]

$s_{z(f)}$  – posuv na zub [mm/zub]

$T$  – trvanlivost jednoho ostří [min]

$z$  – počet zubů, počet břitových destiček

$s_m$  – posuv [ $mm \cdot min^{-1}$ ]

$a_p$  – hloubka řezu [mm], ve výpočtech uvedeno jako  $h_0$

$v_c$  – řezná rychlost [ $m \cdot min^{-1}$ ], ve výpočtech uvedeno jako  $v$

# 1 ÚVOD

## 1.1 Přiblížení obsahu diplomové práce

Ve své diplomové práci jsem sledoval a navrhoval nejen nové metody v soustružení a frézování výrobků z Mn ocelí speciálními břitovými destičkami, ale chtěl jsem také přiblížit celkovou problematiku soustružení a frézování obecně.

Cílem mé práce je také seznámit s vlastnostmi a strukturou Mn ocele (Hadfieldová ocel) na nichž právě záleží způsob opracování. Rovněž se zmiňuji o historii Sléváren Třinec, kde jsem svou diplomovou práci realizoval a kde také pracuji.

## 1.2 Slévárenská výroba v Třinci

Třinecké železářny byly uvedeny do provozu už 1. dubna 1839, kdy byla vybudována první dřevouhelná pec. Od roku 1878 až do 1906 byl majitelem Albert Habsburský, který je v roce 1906 prodal Rakouské bánské a hutní společnosti. Ta je vlastnila až do znárodnění v roce 1945.

Slévárenská výroba se datuje od roku 1842, tři roky po založení Třineckých železáren, kdy byla postavena slévárna tzv. Walcherová huť.

Původním sortimentem byly kamna, plotny pro pece, lité nádoby, stavební litina, náhrobní kříže, později také kanalizační litina, žlaby, v menším množství odlitky pro strojírenství a umělecké odlitky.

V roce 1849 byla postavena první kuplovna a v r. 1871 druhá kuplovna. První odlitky z oceli byly vyrobeny roku 1884 (tekutý kov byl získán z Bessemerova konvertoru, později ze Siemens – Martinovy pece).

Slévárny šedé litiny i slévárna oceli byly několikrát modernizovány a přestavovány. Vyráběly hlavně kokily, stavební litiny, litiny pro dráhy, válce a odlitky z jiných kovů. Výroba se hluboko propadla hlavně kvůli krizi (počátek 20. let, první polovina 30. let).

Během 2. světové války patřily TŽ koncernu Berg und Hüttenverks-gesellschaft a vyráběla se litina pro válečné potřeby. Po osvobození Československa byly 16. 5. 1945 TŽ znárodněny. Výroba v třineckých slévárnách byla určena pro potřeby TŽ a jiných hutních podniků na Ostravsku.

Slévárny prošly rovněž několika částečnými rekonstrukcemi. Po roce 1989 bylo nutno přeměnit typickou hutní obslužnou slévárnu na ryze komerční.

Dne 31. 3. 1999 se slévárny osamostatnily jako „Slévárny Třinec a.s.“. [1]

Dnešní výroba odlitků je soustředěna do slévárny litin (jejich součástí je i středisko výroby neželezných kovů) a slévárny oceli. Podporu slévárenským provozům zajišťuje dřevomodelárna a údržba se střediskem kovomodelárna.

Slévárna šedé litiny I vyrábí odlitky od 2000 kg do 25000 kg ve výrobním sortimentu: ocelářské kokily a licí příslušenství, struskové bedny a mísy, armatury pro válcovny, náhradní díly pro hutní agregáty, raznice pro automobilový průmysl, válce pro válcovny.

Slévárna šedé litiny II vyrábí odlitky ze šedé a tvárné litiny od 50 kg do 3500 kg ve výrobním sortimentu: protizávaží (stavebních strojů), převodové skříně, odlitky pro zemědělství, ozubená kola, sériově vyráběné odlitky na lince HWS (Henry – Wagner – Sinto) zprovozněné v prosinci 2007.

Slévárna oceli vyrábí odlitky od 50 kg do 6000 kg a to ve výrobním sortimentu: odklopné čepy, hlavy vrtulí, řetězová kola, zuby rýpadel, drtící čelisti, srdcovky výhybek, ozubená kola, kladiva pro drtící mlýny, drtící kužele a pláště, anodové hořáky, žáruvzdorné chromové a chromniklové odlitky [2].

Ve slévárně oceli používají na ocelové odlitky nejběžněji oceli těchto jakostí:

- ČSN 422650.5
- ČSN 422712.5
- ČSN 422920.4
- ČSN 422921.4
- GS – 45
- GS – 60
- GS – 42 Cr Mo 4
- G-X 120 Mn 12 Cr 0,8
- G-X 120 Mn 12 – P
- Lo 300 Cr 15 Mo 3
- T 300 SI

Odlitky z Mn oceli, které jsou opracovávány ve středisku opracování pro slévárnu oceli jsou tyto:

- srdcovky výhybek (pro železnice) – mat. 13 Mn-B
- kužele, pláště a drtící desky – mat. G-X 120 Mn Cr 17,2
- magnety – mat. GS – 45
- nárazové lišty – mat. Lo 300 Cr 15 Mo 3

### 1.3 Složení ocelí pro odlitky

V tabulce č. 1 je uvedeno chemické složení jednotlivých ocelí používaných ve Slévárnách Třinec s důrazem na obsah manganu. Obsah jednotlivých prvků je uveden v procentech.

Tab. č. 1 Chemické složení jednotlivých ocelí

Označení oceli	C	Mn	Si	Cr	Cu	Ni	Mo	Rm[MPa]
1. GS–60	0,42	0,40	0,30					600
2. GS–45 B	0,17	0,60	0,30					440
3. G-X120Mn12-P	0,95	12,0	0,30	0,70				885
4. G-X120Mn12Cr0,8	1,10	12,0	0,30					785
5. G-X120MnCr17,2	1,10	16,0	0,30	1,50				
6. 13Mn-B(VIC866V)	1,00	12,0						785
7. GS42CrMo4-B	0,38	0,60	0,80				0,20	
8. T300SL(421266)	2,80	1,20	0,17	24,0	3,2	4,60		
9. Lo300Cr15Mo3	2,90	0,60	0,30	14,0		0,50	2,60	58-63 HCR
10. 422920 ČSN	1,1-1,4	12-14	0,70					
11. 422921 ČSN	1,1-1,5	12-14	0,70	0,7-1,2				

## 1.4 Manganové ocele

Z tabulky č. 1 vyplývá, že manganové ocele opracovávané na slévárnách jsou označeny pořadovým číslem 5. a 6. Jsou to oceli 13Mn-B a G-X120MnCr17,2.

Z nich se vyrábí srdcovky a jazyky pro železnice a tvrdé kužele, pláště a drtící desky. O problematice opracování těchto odlitků s vysokým obsahem manganu bude pojednáno v následujícím textu, ale nejprve bude blíže specifikována Mn ocel.

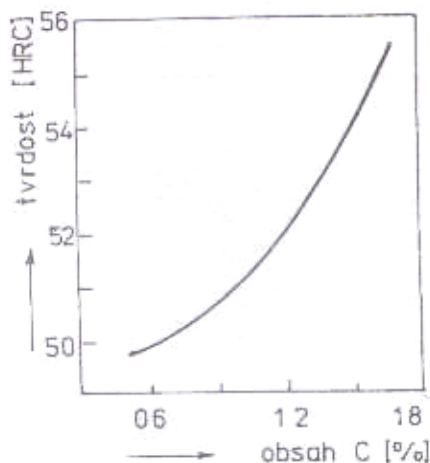
Manganová ocel, patentovaná v roce 1883 R. A. Hadfieldem, má některé specifické vlastnosti, pro které je stále nenahraditelná.

Manganové oceli s obsahem 12 % Mn a 1,2 – 1,4 % C jsou austenitické. Jestliže u uhlíkových a nízkolegovaných ocelí je austenit (tuhý roztok uhlíku v železe  $\gamma$ ) stabilní jen při vysokých teplotách, jenž udává pro uhlíkové oceli rovnovážný diagram Fe-C, lze některými austenitovnými přísadami, jako je mangan a nikl, rozšířit oblast austenitu až do teplot hluboko pod bodem mrazu, přičemž vliv austenitovných přísad výrazně podporují uhlík a dusík.

Obsah uhlíku se volí v povolených hranicích podle požadované odolnosti proti opotřebení a sklonu odlitku k trhlinám. Zvýšení odolnosti proti opotřebení souvisí se schopností oceli zpevňovat.

U složitých případů tlustostěnných odlitků se proto doporučuje snížit obsah uhlíku na spodní hranici povoleného rozmezí (1,0 – 1,5 % C) nebo přisadit malé množství titanu [3].

Závislost obsahu uhlíku na tvrdosti oceli je znázorněna na obr. č. 1.



Obr. č. 1 Diagram závislosti obsahu uhlíku na tvrdosti oceli

Na rozdíl od ocelí se základní hmotou feritickou, které mají prostorově středěnou mřížku, mají oceli austenitické mřížku plošně středěnou, která je příčinou jejich zcela odlišných mechanických i jiných vlastností.

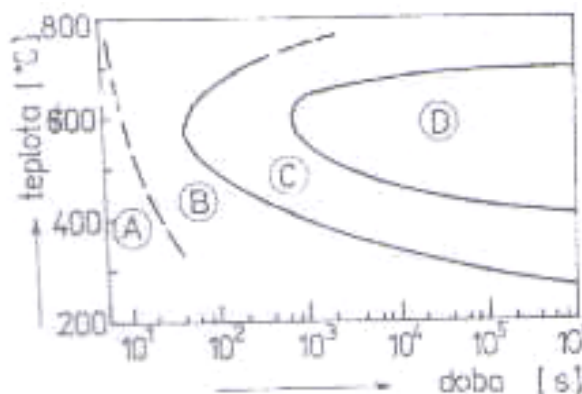
Manganové oceli jsou známy svou vynikající odolností proti opotřebení při vyšším měrném tlaku. Typický pro ně je vysoký obsah uhlíku. Jen díky němu jsou tyto oceli při 12% obsahu manganu a po vhodném tepelném zpracování zcela austenitické.

Manganové oceli jsou ze všech austenitických ocelí nejhůře obrobitelné. Používá se jich proto velmi často jako odlitků, přesto se nejde vždy vyhnout jejich obrábění.

Austenitická manganová ocel na odlitky se dezoxiduje hliníkem, vrubová houževnatost klesá již při nízkém obsahu hliníku. Pokles vrubové houževnatosti způsobují drobné karbidy, které se vylučují na hranicích i uvnitř zrn, protože hliník snižuje rozpustnost uhlíku v austenitu podobně jako křemík [4].

Strukturu austenitických ocelí po odlití tvoří austenit, ve kterém je vyloučen podvojný cementit s různou morfologií. Chceme-li získat houževnatou nemagnetickou austenitickou strukturu, je nutno ocel zahřát na teplotu, při které se karbidy rozpustí v matrici, a ochladit tak rychle, aby se potlačilo jejich zpětné vylučování.

Při novém ohřevu součástek s austenitickou strukturou (např. při svařování) nebo pomalém ochlazování z teploty rozpouštěcího žhání se vylučují v základní matrici karbidy  $M_3C$  a probíhá částečný rozpad austenitu na jemný perlit. Pochody je možno sledovat na diagramu IRA (obr. č. 2).



Obr. č. 2 Diagram IRA

A, B – na hranicích zrn cementit

C – na zrnech austenitu karbidické jehlice

D – část austenitu se transformuje na jemný perlit

Vyloučené karbidy prudce snižují vrubovou houževnatost. Po novém tepelném zpracování (1050 °C / voda) se vrubová houževnatost obnoví.

Ke zlepšení některých vlastností austenitických manganových ocelí se přidává až 2 % molybdenu. Ten posouvá v diagramu IRA začátky rozpadu austenitu silně doprava, takže je možné získat austenitickou strukturu i při relativně pomalém ochlazování.

Mechanické vlastnosti i odolnost proti opotřebení austenitických manganových ocelí závisejí silně na velikosti zrna. Pokud se odlévá austenitická manganová ocel při dostatečně nízké teplotě a je jemnozrná, má maximální pevnost v tahu. Oceli s jemným zrnem mají vyšší odolnost proti opotřebení než oceli hrubozrné.

Při odlévání z vysoké lící teploty jsou patrný na lomové ploše kolumnární dendrity, lomová plocha má stříbrošedou barvu. Po odlití z nízké teploty je lom jemně zrnitý a má sametové zbarvení.

Důležitou vlastností austenitické manganové oceli je její schopnost zpevňovat při dostatečně velkém tlaku nebo rázu. Se zpevňováním povrchu je nutno počítat při obrábění těchto ocelí.

Mechanismus zpevňování je ovlivněn rychlostí deformace a podmínkami namáhání, tj. zda působí napětí tahové, tlakové nebo ohybové.

Podle dnešní představy probíhá při plastické deformaci austenitické manganové oceli nejprve pohyb soustavy dislokací, který vede k tvorbě nových vrstevných chyb a dvojčatových lamel. Vznik dalších strukturních poruch je s největší pravděpodobností příčinou zvýšení tvrdosti v počátečním stádiu deformace. Při pokračující deformaci je zpevňování vyvoláno tím, že obě strukturní poruchy brání v pohybu soustavě kluzových dislokací, takže se zvyšuje jejich hustota. [3]

Manganové austenitické oceli mají výjimečnou způsobilost ke zpevnění a výbornou odolnost proti opotřebení při vysoké houževnatosti. Proto se používají

na součásti, které vyžadují vysokou vzdornost proti opotřebení při současném značném rázovém namáhání.

Používají se tak hlavně ve stavebnictví (zařízení vápenek, cementáren, vybavení lomů a drtíren), v dopravě (výhybky, srdcovky kolejnic), ve zbrojní průmyslu (pancéře), v hutnictví a hornictví i v jiných odvětvích (smýkadla, pouzdra).

Stejný sortiment je vyráběn a opracováván také ve Slévárnách Třinec, jak již bylo zmíněno dříve. Také zde se již dost dlouho potýkají se špatnou obrobiteľností, která je způsobená zpevňováním tvořené třísky, vysokou houževnatostí a nízkou tepelnou vodivostí manganových austenitických ocelí.

Dalším nepříznivým činitelem snižujícím obrobiteľnost je vliv tlaku nástroje a tepelného zatížení na břit, kdy v tenkých povrchových vrstvách nastává přeměna austenitu v martenzit na hranicích zrn, kde je větší obsah karbidů [4].



## 2 OPRACOVÁNÍ MANGANOVÝCH OCELÍ

Odlitky z manganových ocelí se opracovávají frézováním a soustružením.

### 2.1 Frézování

Frézování je obráběcí metoda, při které je tříska odebíraná břity rotujícího nástroje.

Hlavní pohyb je tedy rotační a koná ho nástroj. Vedlejší posuv koná obrobek a je přímočarý. U moderních strojů jsou posuvy plynule měnitelné a mohou se realizovat ve více směrech zároveň. Řezný proces je přerušovaný a každý zub odřezává krátké třísky proměnlivé tloušťky.

Posuv součástí přitom probíhá převážně ve směru kolmém k ose obrábění (lze i ve více směrech zároveň – víceosá obráběcí centra).

Podle způsobu záběru frézy do materiálu obrobku rozeznáváme dva způsoby frézování:

- frézování válcové (obvodem nástroje)
- frézování čelní (čelem nástroje)

Z těchto dvou základních způsobů vychází některé další způsoby jako např. okružní, planetové.

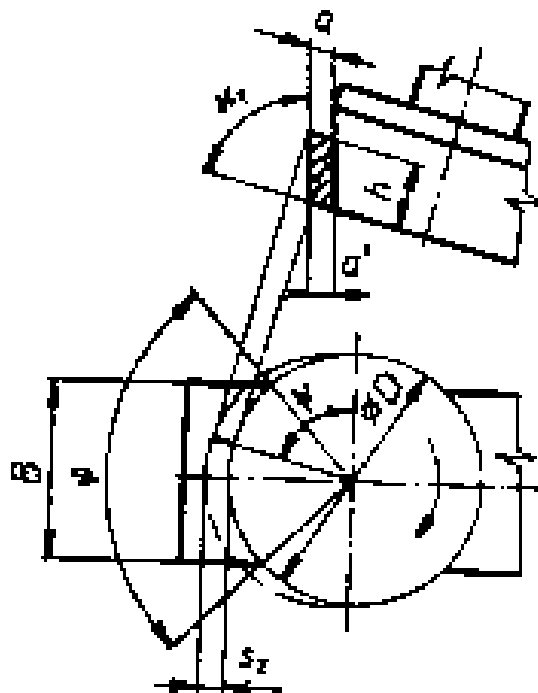
V obráběcím centru Sléváren v Třinci se používá čelní frézování obrobku z Mn ocele, proto o něm bude dále pojednáno podrobněji.

Čelní frézování se uplatňuje při práci s čelními frézami, které mají zuby na obvodě i čele nástroje. Podle polohy osy nástroje vzhledem k ose obrobku se dělí na symetrické (osa nástroje prochází středem frézované plochy) a nesymetrické (osa nástroje je mimo střed frézované plochy). Při čelním frézování pracuje fréza současně sousledně i nesousledně.

Při každém otočení nástroje vykoná obrobek posuv na otáčku o velikosti

$$S_n = S_z \cdot Z$$

Tloušťka řezu se přitom zvětšuje ke středu obrobku a zmenšuje se v místě vstupu a výstupu zubů frézy do obrobku, resp. z obrobku (obr. č. 3).



Obr. č. 3 Tloušťka řezu při čelním frézování

Počáteční a konečná tloušťka odřezávané vrstvy závisí na poměru šířky obrobku k průměru frézy a dále také na symetričnosti polohy osy frézy vzhledem k obrobku.

Tloušťku řezu lze vyjádřit vztahem:

$$a = s_z \cdot \sin \psi$$

Je-li úhel nastavení  $\chi_r$ , pak odpovídající tloušťka řezu je [5]:

$$a' = s_z \cdot \sin \psi \cdot \sin \chi_r$$

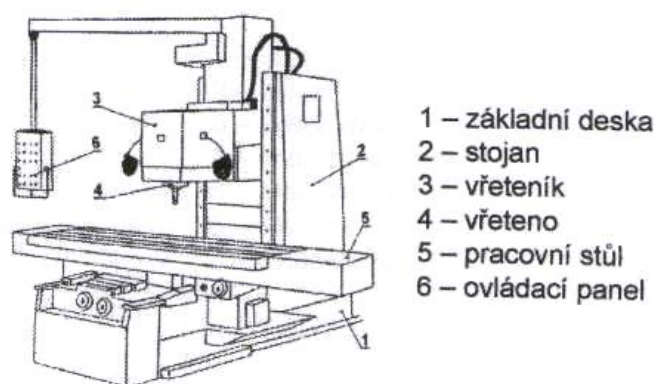
## 2.2 Frézky

Čelním způsobem se frézuje na rovinných frézkách (jsou používány ve slévárnách). Dá se vykonávat i na svislých a vodorovných konzolových a stolových frézkách (obr. č. 4).

Velikost frézky určuje šířka upínací plochy stolu, velikost upínacího kužele, délka pohybu pracovního stolu, rozsah posuvů a otáček vřetene a kvalitní parametry obrobené plochy.

Rovinné frézky patří mezi nejvýkonnější druh frézek. Jsou robustní konstrukce a dovolují obrábět těžké obrobky. Jsou výhodné v kusových a malosériových výrobách, uplatňují se však dobře i v sériové výrobě.

Pracuje se na nich nejčastěji frézovacími hlavami. Tyto frézky jsou buď stavebnicové nebo portálové, které mají dva stojany. Pracovní stůl má jeden stupeň volnosti (pohybuje se jen v jednom směru) a mohou mít více vřeteníků [6].



Obr. č. 4 Stolová frézka

## 2.3 Frézy

Vzhledem k mnohostrannému uplatnění frézování ve strojírenské výrobě a k velkému rozsahu technologie frézování se v současné době používá mnoho typů fréz.

V závislosti na jejich technologickém uplatnění je třídíme do skupin podle různých hledisek:

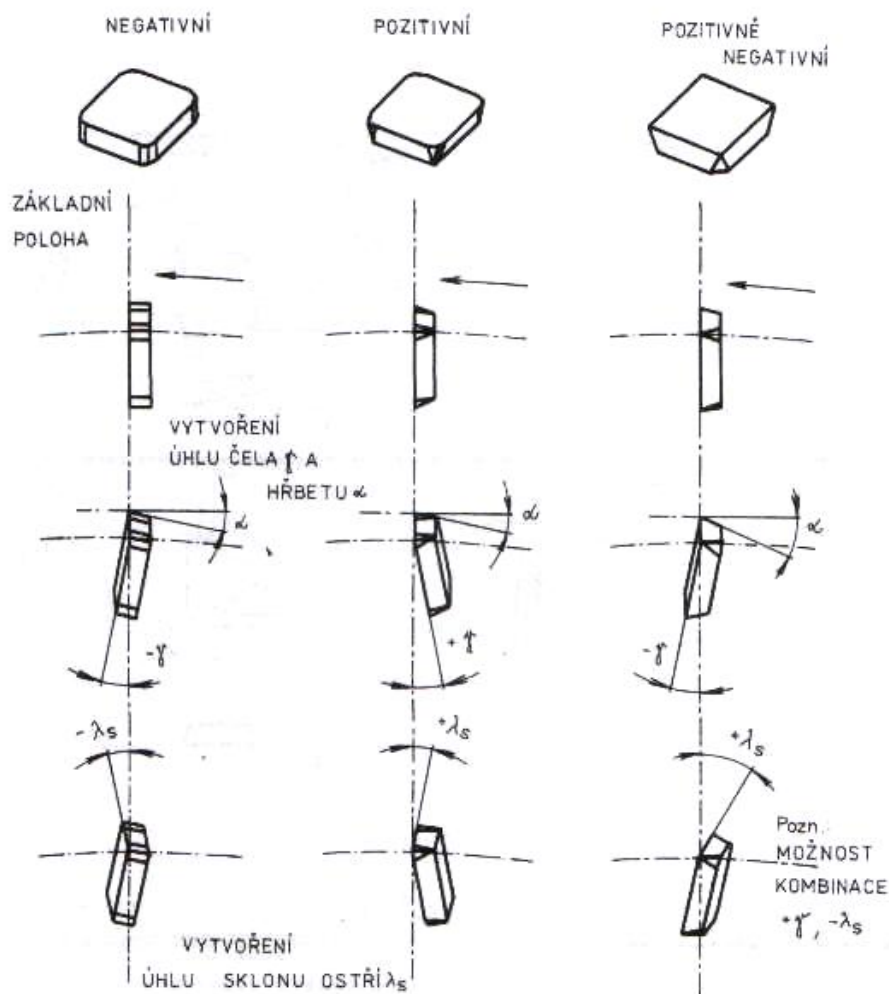
- a) Podle umístění zubů na válcové (mají zuby na válcové ploše), čelní (mají zuby na čelní ploše) a válcové čelní (mají zuby na čelní i válcové ploše).
- b) Podle nástrojového materiálu zubů na frézy z rychlořezné oceli (RO), slinutých karbidů (SK), cermetů, řezné keramiky (ŘK) a kubického nitridu boru (KNB).

- c) Podle provedení zubů se rozlišují frézy se zuby frézovanými nebo podsoustruženými (mají hřbetní ploch vytvořenou jako část Archimedovy spirály).
- d) Podle směru zubů na frézy se zuby přímými a zuby ve šroubovici.
- e) Podle počtu zubu na frézy jemnozubé, polohrubozubé a hrubozubé.
- f) Podle konstrukčního uspořádání na frézy celistvé, s vloženými noži a s vyměnitelnými břitovými destičkami.
- g) Podle geometrického tvaru funkční části se rozlišují na frézy válcové, kotoučové, úhlové, drážkovací, kopírovací, rádiusové atd.
- h) Podle způsobu upnutí jsou frézy nástrčné nebo stopkové.
- i) Podle smyslu otáčení se dělí na pravořezné a levořezné.

Frézy ve frézkách se pro opracování ve slévárnách používají čelní nebo frézovací hlavy. Jako materiál na frézy se používá slinutý karbid s takovým počtem zubů, aby byl chod frézy klidný tz. takový, aby současně řezaly minimálně dva zuby. Zuby mohou být frézované nebo podsoustružené (lze využít značnou část tloušťky zubu). Frézovací hlavy mohou být osazeny vyměnitelnými destičkami.

Geometrie fréz s vyměnitelnými destičkami je (obr. č. 5):

- negativní
- pozitivní
- pozitivně negativní



Obr. č. 5 Geometrie fréz

Důležitý je úhel nastavení frézovací hlavy  $\chi_r$ . Volí se:

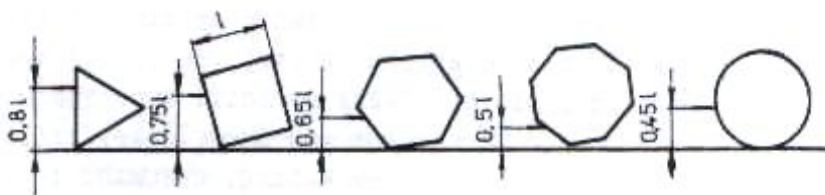
- $45^\circ$
- $60^\circ$
- $75^\circ$
- $90^\circ$

Pro nás je nejdůležitější  $\chi_r = 45^\circ$  - volí se při menší tuhosti nástroje, je vhodný pro opracování litiny i tvrdých manganových ocelí.

$\chi_r = 60^\circ$  až  $75^\circ$  se používá pro běžné frézování.

$\chi_r = 90^\circ$  se volí pro frézování pravoúhlých profilů u obrobků s menší tuhostí v axiálním směru nástroje.

Nejčastější tvary vyměnitelných destiček používaných v praxi jsou znázorněny na obrázku č. 6.



Obr. č. 6 Tvary destiček

Vyměnitelné destičky se upínají do tělesa frézy různým způsobem. A to axiálním stavěním, kde je za řeznou destičkou umístěn doraz. Doraz i destička se upínají pomocí klínů a šroubů. Kromě uvedeného způsobu existuje kazetový způsob, kde jsou destičky předem upnuty ke kazetě [7].

## 2.4 Soustružení

Soustružení se používá především k obrábění válcových tvarů při odebrání materiálu obrobku jednobřítým nástrojem pohybujícím se rovnoběžně s osou rotace obrobku upnutého mezi hroty apod.

Při soustružení je také možno řezat závity, soustružit kužele, vrtat a vyvrtávat.

Řezná rychlost:

$$v = \pi \cdot D \cdot n / 1000$$

D – průměr obrobku

n – počet otáček obrobku za minutu

## 2.5 Soustruhy

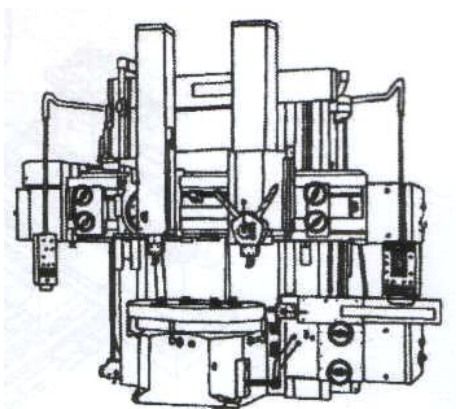
Soustružnické stroje (soustruhy) představují nejpoužívanější obráběcí stroje. Vyrábí se ve velkém počtu typů, velikostí a stupňů automatizace.

Dělíme je na:

- hrotové
- svislé
- čelní
- revolverové
- speciální

Ve Slévárnách Třinec jsou používány svislé soustruhy (karusely), (obr. č. 7). Používají se v kusové a malosériové výrobě středních a velkých rotačních

součástí. Vyrábějí se jako jednostojanové nebo dvoustojanové. Mezi hlavní části patří otočný stůl, stojany a příčníky se suportem [7].



Obr. č. 7 Svislý soustruh (karusel)

## 2.6 Soustružnické nože

Soustružit lze soustružnickými noži, které jsou upnuty v soustruhu. Z hlediska použití soustružnického nože je třeba brát v úvahu jejich dokonalé využití, včetně ekonomických ukazatelů.

Proto je třeba větší pozornost věnovat nožům s vyměnitelnými břitovými SK destičkami.

Soustružnické nože rozdělujeme podle následujících hledisek:

- a) podle užitého nástrojového materiálu – rychlořezné, se slinutým karbidem, s keramickou destičkou, s diamantem nebo kubickým nitridem boru
- b) podle způsobu zhotovení – celistvé, s přivařenou, připájenou, přilepenou destičkou, s mechanicky upínanou destičkou
- c) podle polohy ostří k podélné ose nože na pravé a levé
- d) podle tvaru a polohy hlavního břitu – přímé, vyhnuté, prohnuté, osazené, kotoučové a prizmatické
- e) podle průřezu tělesa nože – čtvercový, kruhový, obdélníkový, s lichoběžníkovým profilem

Často jsou nože děleny podle řezné geometrie na: pozitivní, negativní i negativně-pozitivní.

Mezi určující údaje pro velikost nože patří charakter práce, použitý stroj a řezné podmínky. Závisí také na technologii postupu výroby a obráběném materiálu [5].

## **2.7 Vyměnitelné destičky frézovacích hlav a soustružnických nožů**

Destičky mohou být z rychlořezných ocelí, slinutých karbidů, cermetů, z řezné keramiky, polykrystalického diamantu a polykrystalického kubického nitridu boru a povlakovaných slinutých karbidů.

### **2.7.1 Rychlořezné oceli (RO)**

Rychlořezné oceli se vyrábějí práškovou metalurgií – po roztavení a odlití (1550 °C) oceli do kokil se blok žihá (900 °C). Blok se dále zpracovává kováním nebo válcováním a nakonec se žihá na měkko.

Typické chemické složení RO:

C 0,85 %; Cr 4,2 %; W 6,25 %; Mo 5,0 %; V 1,85 %.

Aby se zvýšila životnost nástroje a jeho výkonnost, upravují se povrchové vrstvy části nástroje. Je to tzv. povlakování.

Metoda PVD – fyzikální povlakování, nejčastěji je aplikován povlak TiN a to napařováním, naprašováním nebo iontovým plátováním.

### **2.7.2 Slinuté karbidy (SK)**

O těchto bude pojednáno podrobněji, protože právě SK se ve Slévárnách Třinec používají při opracování Mn oceli pro destičky na opracování.

Základními karbidy pro výrobu SK pro obrábění jsou karbid wolframu (WC) a karbid titanu (TiC), pojícím kovem je kobalt (Co). Jako další přísady se nejčastěji používají karbidy tantalu (TaC), niobu (NbC) a chromu (Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>). Jsou někdy označovány jako jednokarbidové (D), dvoukarbidové (P) a vícekarbidové (M).

Skupina K je určena pro obrábění materiálů, které vytvářejí krátkou drobivou třísku (litina, nezelezná slitiny a nekovové materiály).

Skupina P je určena pro obrábění materiálů, které tvoří dlouhou třísku, jako jsou uhlíkové oceli, slitinové oceli a feritické nerezavějící oceli.



Skupina M má univerzální použití a je určena pro obrábění materiálů, které tvoří dlouhou a střední třísku, jako jsou lité oceli, austenitické nerezavějící oceli a tvárné litiny (vzhledem k vysoké houževnatosti této skupiny se používají pro těžké hrubovací a přerušované řezy).

Z běžných slinutých karbidů K, P, M je pouze omezený počet druhů vhodný pro lehké a dokončovací obrábění (vysoká řezná rychlost, nízká posunová rychlost a hloubka řezu).

### **2.7.2.1 Výroba slinutých karbidů**

Zabývá se jí prášková metalurgie. Obecný postup výroby SK lze rozdělit do následujících základních operací:

- a) výroba práškového wolframu
- b) výroba práškového karbidu (WC, TiC, TaC, NbC) a kobaltu
- c) příprava směsí uvedených prášků
- d) formování směsí
- e) předlisování sformovaných směsí (kolem 1000 °C)
- f) úprava tvaru předslinutého tělesa
- g) slinování (1350 – 1650 °C)
- h) vysokoteplotní izostatické lisování, kdy probíhá slinování za vysokých teplot a působení tlakového plynu, který zajistí rovnoměrný tlak na slinovaný výrobek ze všech směrů. SK pak mají vysokou hustotu a minimální objem pórů a jiných vad a proto dosahují vyšších hodnot trvanlivosti

### **2.7.2.2 Vlastnosti SK – fyzikální**

Sleduje se:

- Měrná hmotnost, tepelná vodivost, délková roztažnost
- Magnetické vlastnosti a elektrická vodivost
- **Mechanické vlastnosti:**
  - 1) Tvrdost – závislost tvrdosti na teplotě
  - 2) Pevnost v ohybu: Roste s rostoucím obsahem Co (do 16 – 18 %) pak klesá. S rostoucí teplotou výrazně klesá i pevnost v ohybu.
  - 3) Pevnost v tlaku: Ve srovnání s jinými materiály mají SK mnohem vyšší pevnost v tlaku, až 7000 MPa.

- 4) Pevnost v tahu: Lze sledovat velmi obtížně.
- 5) Modul pružnosti v tahu a smyku. SK mají vysoký modul pružnosti v tahu, který s rostoucím Co klesá (dosahují rozmezí 460 – 670 GPa). Modul pružnosti ve smyku dosahuje hodnot 170 – 270 GPa.
- 6) Lomová houževnatost: Roste s narůstajícím obsahem Co a je vyšší pro materiály s hrubším zrnem tvrdé fáze WC až do teplot 500 – 700 °C, pak prudce narůstá.

### **2.7.2.3 Povlakované slinuté karbidy**

Základní SK jsou povlakovány tenkými povrchovými vrstvami a to typu PVD (fyzikální povlakování) a CVD (chemické povlakování).

Vývojové stupně povlakovaných slinutých karbidů (PSK) jsou uvedeny v dalším textu.

#### **2.7.2.3.1 Vývojové stupně PSK**

##### **1. Generace**

Jednovrstvý povlak (TiC), nedokonalá technologie výroby – při obrábění docházelo k odlupování povlaku, což vedlo k znehodnocování nástroje.

##### **2. Generace**

Jednovrstvý povlak (TiC, TiCN, TiN). Vrstvy povlaků o větší tloušťce.

##### **3. Generace**

Vícevrstvý povlak s ostře ohraničenými přechody mezi jednotlivými vrstvami. Nejčastěji bývají jednotlivé vrstvy řazeny v tomto pořadí: TiC – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiC – TiN, TiC – TiCN – TiN, TiC – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – TiN.

#### **2.7.2.3.2 Metody povlakování**

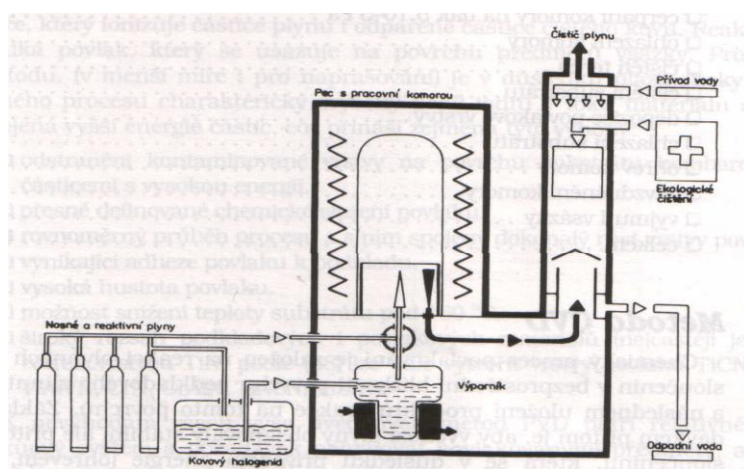
##### **Metoda PVD**

Fyzikální proces povlakování probíhá ve středním až vysokém vakuu, čistý kov (Ti) je odpařován pomocí elektrického oblouku a atomární částice dopadají na povrch substrátu, kde se usazují v tenké vrstvě pevně adhezně spojené s podkladem (tj. napařování). Při napařování se využívá el. Výboje v plynové komoře komory.

Existuje i iontové plátování, což je kombinace napařování a naprašování.

### Metoda CVD

Chemický proces povlakování je založen na reakci plynných chemických sloučenin v bezprostřední blízkosti povrchu podkladového SK a následném uložení produktů reakce na tomto povrchu (obr. č. 8). Výchozí plyny musí obsahovat stabilní, ale přitom prchavou sloučeninu, která se v důsledku přivedení energie chemicky rozkládá. Aby proběhla požadovaná reakce, musí být v plynech obsažen i nekovový reaktivní plyn (např.  $N_2$ ,  $NH_4$ ,  $CH_4$ ).



Obr.č.8 Princip povlakovacího zařízení pro metodu CVD

#### 2.7.2.3.3 Vlastnosti

Fyzikální a mechanické vlastnosti jsou dány druhem povlaku, jeho tloušťkou a metodou povlakování a substrátem.

Povlaky  $Al_2O_3$  jsou používány pro vysoké řezné rychlosti, vykazují vyšší trvanlivost než  $TiC$ , který je vhodný pro nízkou řeznou rychlost.

Povlaky na slinutých karbidech pro obrábění mají vyšší tvrdost než běžné SK, snižují řezné síly, teploty a koeficient tření a brání difúznímu mechanismu opotřebení. U břitových destiček z SK povlakovaných se utvoří na břitu ochranný „štít“ podél celé části ostří a na dolním okraji opotřeбенé plošky se vytvoří ochranný „práh“, který rovněž vystupuje nad rovinu opotřebení.

## **2.7.2.4 Užití SK v oblasti technologie obrábění**

### **2.7.2.4.1 Opotřebení řezného nástroje**

Opotřebení je důsledkem funkce všech strojních součástí, které jsou ve vzájemném kontaktu a relativním pohybu. Podmínky práce řezného nástroje se zásadně liší od podmínek práce běžných strojních součástí.

K základním mechanismům opotřebení patří zejména:

- 1) abraze (brusný otěr tvrdých mikročástic obráběného materiálu i mikročástic uvolněných z nástroje)
- 2) adheze (porušování mikrotvarových spojů na stýkajících se vrcholcích nerovnosti čela a třísky, v důsledku vysokých teplot a tlaků)
- 3) difúze (migrace atomu z obráběného do nástrojového materiálu a naopak a vytváření nežádoucích chemických sloučenin ve struktuře nástroje)
- 4) oxidace (vznik chem. sloučenin na povrchu nástroje v důsledku působení kyslíku z okolí)
- 5) plastická deformace – lavinové opotřebení (důsledek vysokého tepelného a mechanického zatížení)
- 6) křehký lom (důsledek vysokého mechanického zatížení – přerušovaný řez, nehomogenity a vměstky)

Hřbet nástroje se opotřebovává obrazí a oxidací, čelo v důsledku adheze, difúze, abraze a oxidace.

### **2.7.2.4.2 Trvanlivost a životnost řezného nástroje**

Je to součet všech čistých časů řezání od začátku obrábění až po opotřebení břitu nástroje, přičemž výrobek po celou dobu obrábění (trvanlivosti nástroje) musí mít požadovaný tvar, rozměry a kvalitu. Trvanlivost nástroje závisí na metodě obrábění (soustružení, frézování, vrtání atd.)

Na trvanlivost nástroje má vliv především řezná rychlost.

#### **2.7.2.4.3 Řezivost nástroje**

Je to vlastnost, která umožňuje nástroji efektivním způsobem odebrat třísku z obráběného materiálu. Kritériem hodnocení nástroje je T–V závislost (T – trvanlivost nástroje, V – řezná rychlost).

#### **2.7.2.4.4 Obrobitelnost materiálu**

Je hlavním činitelem, který ovlivňuje volbu řezných podmínek pro funkci nástroje při všech metodách obrábění.

Pro potřeby vyhodnocování obrobitelnosti jsou konstrukční materiály rozděleny do 9 základních skupin:

- a – litiny
- b – oceli
- c – těžké neželezné kovy (měď a slitiny mědi)
- d – lehké neželezné kovy (hliník a slitiny hliníku)
- e – plastické hmoty
- f – přírodní nerostné hmoty
- g – vrstvené hmoty
- v – tvrzené litiny pro výrobu válců

Obrobitelnost musí být posuzována v úzké souvislosti s řezivostí nástroje.

#### **2.7.2.4.5 Hodnocení efektivnosti řezných nástrojů**

Povlakované SK patří mezi velmi kvalitní nástrojové materiály. S kvalitou roste cena, proto je důležité použít takový nástroj, který bude výhodný nejen z hlediska úběru obráběného materiálu, ale i ekonomických nákladů.[8]

#### **2.7.2.5 Nové trendy vývoje tenkých vrstev PVD a CVD technologií pro řezné nástroje**

V současnosti jsou z hlediska typů tenkých vrstev jednofázové vrstvy TiC, TiN méně používány než vrstvy Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Jako první se na substrát obvykle deponují vrstvy s lepší přilnavostí k podkladu. Tyto vrstvy mají relativně nižší odolnost proti opotřebení. Naopak poslední vrstva je charakteristická svou tvrdostí a odolností proti opotřebení.

#### 2.7.2.5.1 Současné průmyslově aplikovaná vrstvy

Systém tvořený vrstvou 3. generace je vícevrstvý (dně, tři, případně i více) s ostře ohraničenými přechody mezi vrstvami.

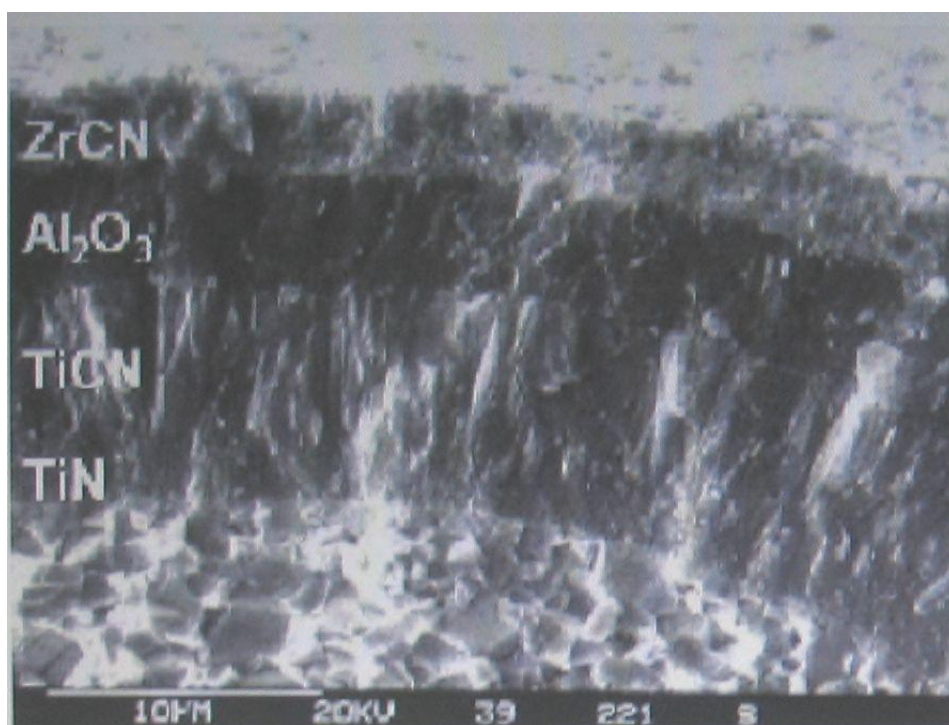
4. generace je charakteristická speciálním mnohovrstvým systémem s méně či více výraznými přechody mezi vrstvami. K původním materiálům pro jednotlivé vrstvy (TiC, TiN, TiCN,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) přibývají další materiály jako např. AlTiN,  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$ ,  $\text{B}_4\text{C}$ , CrC, CrN,  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ , HfC, HfN, MgO,  $\text{SiO}_2$ , TaC, TaCN, TaN, TiAlN, TiAlSiN, TiCrCN, TiN/NbN, TiN/TaN, TiZrN,  $\text{Ti}_2\text{N}$ ,  $\text{TiO}_2$ , TiC +  $\text{TiB}_2$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$ , ZrC, ZrN.

Významnou roli při zvyšování výkonů řezných nástrojů hrají i tzv. lubrikační povrchové vrstvy – např.  $\text{MoS}_2$  vytvořena metodou PVD. Nejdůležitější funkcí lubrikačních vrstev je výrazné snížení tření mezi čelem nástroje a odcházející třískou. Vrstva  $\text{MoS}_2$  má tloušťku do 1  $\mu\text{m}$  a deponuje se jako poslední vrstva na tvrdý a otěruvzdorný povrch. Ve vodě je nerozpustná, vydrží teplotní zatížení až 800 °C, používá se při obrábění za sucha, zlepšuje drsnost povrchu obrobené plochy při náročných operacích (řezání vnitřních závitů, vrtání hlubokých děr s malým průměrem).

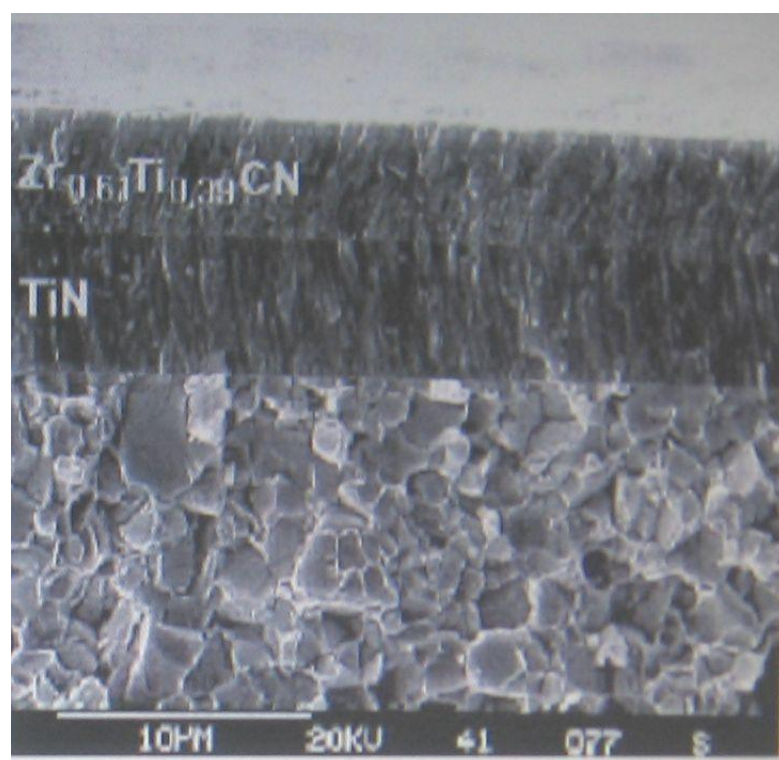
Současné vrstvy třetí generace používá japonská firma Mitsubishi – na podkladový Sk je nanесena vrstva TiCN s výrazně vláknitou strukturou (zvyšuje odolnost destičky proti mechanickému opotřebení). Následuje vrstva  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pro zvýšení odolnosti proti difúznímu a adheznímu opotřebení. Poslední vrstva TiN snižuje koeficient tření a zvyšuje odolnost proti oxidaci.

Stejně vrstvy používají i firmy Kyocern, SumimotoElectric a Sanvik Coromat, jehož podklad tvoří strukturně gradientní SK a vrstva je tvořena středně – teplotní metodou MTCVD (depoziční teploty dosahují až 1000 °C).

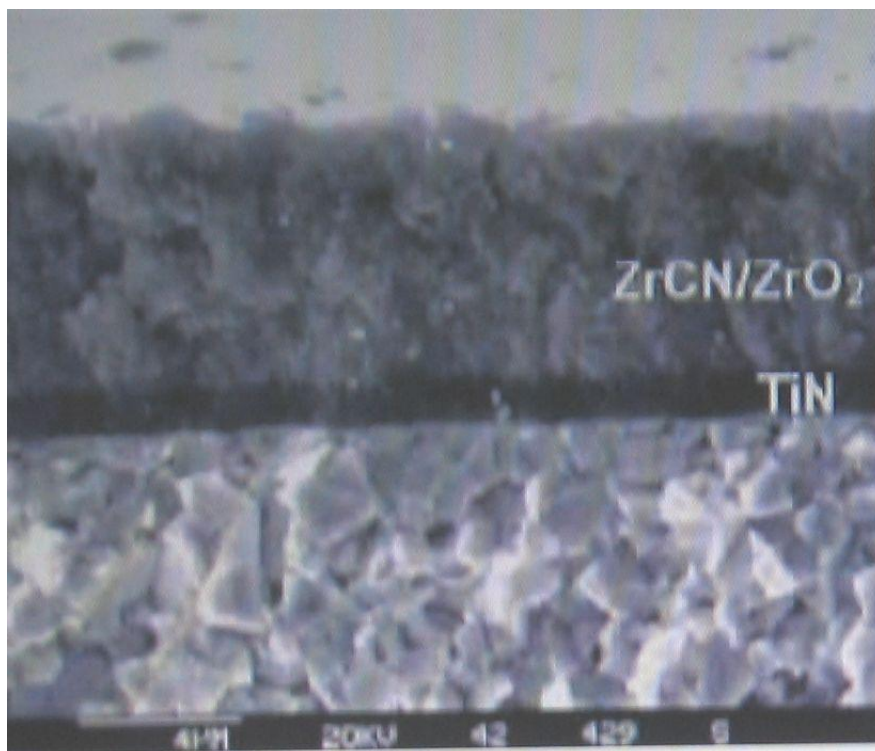
Firma Widia používá na rozdíl od jiných výrobců poslední vrstvu z nějakého nového materiálu např. ZrCN (obr. 9), ZrTiCN (obr. 10), ZrCN/ $\text{ZrO}_2$  (obr. 11).



Obr. č. 9 Materiál TN7010



Obr. č. 10 Materiál ZrTiCN



Obr. č. 11 Materiál ZrCN/ZrO<sub>2</sub>

Vrstva ZrCN umožňuje vytvářet u břitových destiček vrstvu o tloušťce 15-25  $\mu\text{m}$  s vysokou mechanickou stabilitou bez problémů s adhezí.

Vrstva ZrTiCN má rovněž kompaktní vláknitou strukturu, vysokou pevnost v ohybu. Vícefázová vrstva ZrCN/ZrO<sub>2</sub> snižuje tepelný tok z obrobku a třísky do nástroje a povrch z ZrO<sub>2</sub> zvyšuje tvrdost.

#### 2.7.2.5.2 Multivrstvy

Vysoké užité vlastnosti řezných nástrojů dosahují systémy tvořené tzv. multivrstvami, kde se pravidelně střídají dva typy vrstev (TiN – TiCN, TiN – TiAlN) s rozdílnými fyzikálními vlastnostmi.

Systém je odolný proti šíření trhlin. Systém má velmi malou drsnost a proto výrazně snižuje tření mezi třískou a čelem nástroje, což vede k podstatnému snížení množství vzniklého tepla. Nižší teplota znamená zachování tvrdosti vrstvy, je odolná i proti chem. reakcím. Následkem těchto vlastností má nástroj vyšší trvanlivost.



### 2.7.2.5.3 Nanokrystalické kompozity

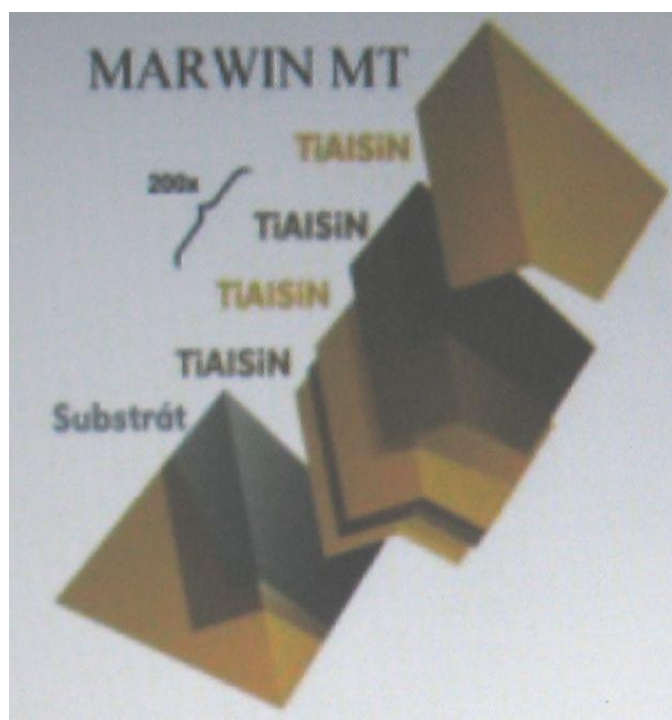
Dalším vývojem multivrstvých systémů vznikly tzv. nanokrystalické kompozity, u nichž jsou prostorové rozměry sníženy do nanometrických dimenzí, které jsou složeny s více druhů materiálů.

Při optimálním poměru např. u systému TiN – Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> může tvrdost hodnoty HV dosáhnout nad 50 GPa.

Nanokrystalické kompozity jsou založeny na termodynamické segregaci dvoufázového nebo vícefázového systému (např. TiN – Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Ti<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N – Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>). Výsledný materiál je tedy tvořen dvěma nebo více složkami, které jsou vzájemně nerozpustné, alespoň jedna je krystalická a hranice mezi jednotlivými krystaly jsou velmi úzké.

Vysoká tvrdost kompozitu je dána jeho jemnozrnnou strukturou a hranice zrn slouží jako efektivní bariéra proti šíření poruch.

Konkrétně firma SHM – Šumperk vytváří multivrstevně řešené nanokrystalické systémy (obr. č. 12) – Marwin MT – speciální PVD technologii, která využívá odpařování pevného materiálu pomocí nízkonapětového oblouku.



Obr. č. 12 Nanokrystalický systém Ti<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N-Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>

#### 2.7.2.5.4 Pokroky v depozičních technologiích

Zásadní kvalitativní změnu v technologii vytváření tenkých otěruvzdorných vrstev přinesla tzv. plazmaticky aktivovaná CVD metoda (označ. PCVD nebo PACVD).

Dále MWPCVD – mikrovlnná plazmatická CVD metoda, která se od klasické CVD liší nízkými pracovními teplotami (600 °C), přičemž se nemění princip vytváření vrstvy z plynné fáze.

Další metodou je tzv. MTCVD – středně teplotní CVD. Na rozdíl od konvenční CVD technologie, kde depoziční technologie dosahují teplot 1000 °C, umožňuje technologie MTCVD vytvářet vrstvy z plynné fáze při teplotách 700 – 850 °C. U CVD metody je používán plynný metan  $\text{CH}_4$  (zdroj uhlíku) a čistý dusík, MTCVD metoda využívá sloučeninu acetonitril ( $\text{CH}_3\text{CN}$ ) nebo též vysoce toxický a hořlavý metylkyanid. Zdrojem titanu je u obou metod chlorid titaničitý ( $\text{TiCl}_4$ ) [9].

### 2.7.3 Cermety

Je to řezný materiál obsahující tvrdé částice  $\text{TiC}$ ,  $\text{TiN}$ ,  $\text{Ti(C, N)}$  (asi 60 – 85 %) v kovovém ( $\text{Ni}$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{Co}$ ) pojivu připravený práškovou metalurgií.

Cermety disponují velmi dobrou odolností proti opotřebení hřbetu i čela, vysokou tvrdostí za tepla a chemickou stabilitou.

Oproti SK mají menší houževnatost a odolnost proti tepelnému rázu.

### 2.7.4 Řezná keramika

Výroba řezné keramiky na bázi  $\text{Al}_2\text{O}_3$  nebo  $\text{Si}_3\text{N}_4$  je obdobná jako u jiných práškových slinutých karbidů.

Je odolná proti působení vysokých teplot, proti opotřebení, chemickým vlivům i korozi. Je dostupná ze základních surovin z domácích zdrojů a má poměrně nízkou cenu.

Používá se zejména na soustružení, vyvrtávání a frézování šedé litiny, žáruvzdorných a žárovevých slitin, zušlechtěných (kalených) ocelí, tvárné a temperované litiny a do určité míry i ocelí.

## 2.7.5 Syntetické velmi tvrdé materiály

Jsou na bázi diamantu (PKD) i kubického nitridu boru (PKBN, PKB) a vyznačují se zvláště tvrdostí a otěruvzdorností, výrazně převyšují dosud používané řezné materiály ze slinutého karbidu a řezné keramiky (obr. č. 13).

Materiál	Vlastnosti	RO	SK	Cermet	ŘK Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ŘK Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	PKD	PKBN
Hustota	[g.cm <sup>-3</sup> ]	8,0 - 9,0	6,0 - 15,0	5,6 - 7,4	3,9 - 4,5	3,2 - 3,6	3,5 - 4,2	3,1 - 4,2
Tvrdost	HV 30	700 - 900	1200 - 1800	1600 - 1800	1450 - 2100	1350 - 1600	5000	3500
E / modul	[GPa]	260 - 300	470 - 650	400 - 460	300 - 450	300 - 380	840	680
Pevnost v tlaku	[MPa]	2800 - 3800	3500 - 6000	3500 - 5000	3500 - 5500		7600	3500
Pevnost v ohybu	[MPa]	2500 - 4000	1300 - 3200	1500 - 2300	400 - 800	600 - 950	600 - 1100	500 - 800
Vrubový faktor	[MPa.m <sup>1/2</sup> ]	15 - 30	10 - 17	8 - 12	4 - 6	5 - 7		4
Tepelná roztažnost	[10 <sup>-6</sup> .K <sup>-1</sup> ]	9 - 12	4,6 - 7,5	7 - 9,5	5,5 - 8,0	3,0 - 3,8	3,1	4,7
Tepelná vodivost	[W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	15 - 48	20 - 80	10 - 17	10 - 38	30 - 60	560	44 - 100

Obr. č. 13 Porovnání vlastností řezných materiálů

Polykrystalické supertvrde materiály se připravují slinováním vstupních diamantových, popř. KBN prášků s různými pojivy ve vysokotlakých nástrojích při tlacích 6 – 8 GPa a teplotách 1600 – 1800 °C. Účelem slinování je docílit přímé vazby mezi jednotlivými zrny supertvrdých materiálů.

Polykrystalický diamant se používá pro obrábění neželezných kovů a jejich slitin, laminátových dřevotřísek. Důležitými oblastmi jeho požití jsou geologie a hornictví, kde je PKD osazován jako řezný element do vrtných korunek a dlát.

Polykrystalický kubický nitrid boru v přírodní formě neexistuje. Používá se na nástroje pro soustružení, vyvrtávání a jemnozrné frézování. Břitové destičky s vysokým podílem KBN se osvědčily při obrábění superslitin, slinutých karbidů a tvrzených litinových válců. Řezné destičky s menším podílem KBN a keramickou vazbou jsou nezastupitelné při obrábění zušlechťených (zakalených) ocelí a tvrzených litin s tvrdostí na 48 HRC [10].

### 3 TECHNOLOGIE OPRACOVÁNÍ MANGANOVÝCH OCELÍ

V obráběcím centru Sléváren v Trinci se obrábějí tyto výrobky z manganových ocelí:

1. Srdcovky výhybek, jazyky pro železnice a drtící desky – obrábějí se na frézách
2. Kužele pro mlýny – obrábějí se na soustruzích

Dříve i nyní se výrobky opracovávají frézami a soustružnickými noži s různými druhy břitových destiček. Např. ze slinutých karbidů (SK) nebo kubického nitridu boru (CBN). Tyto se příliš neosvědčily. Při dané rychlosti opracování se při zvětšení hloubky záběru frézy vytvrzovala manganová ocel odlitku. Tedy nebylo možno těmito destičkami opracovávat, protože se otupovaly, lámaly a praskaly.

Pro srovnání jsou ale uvedeny, aby mohly být hodnoceny výhody nové technologie (při použití jiných břitových destiček).

Při užití nové technologie opracování se používá stejných strojů – soustruhů a frézek, ale mění se frézovací hlavy a soustružnické nože. Používají se břitové destičky firmy PRAMET z materiálu 7025 + Marwin 50 Black.

Materiál 7025 obsahuje substrát s vysokým obsahem kubických karbidů (typ S), který je opatřen multivrstevnatým nanostrukturním povlakem s vysokým obsahem Al naneseným metodou PVD. Používá se pro střední a vyšší posuvy, pro střední až vysoké řezné rychlosti a má stabilní záběrové podmínky [11].

#### 3.1 Frézování

##### 3.1.1 Současné a starší technologie obrábění na frézách

Pro odlitky obráběné na frézách se používají portálové frézky FP 20.

###### Technické údaje:

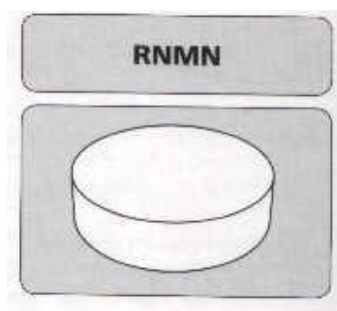
Upínací deska stolu	1600 x 4000 mm
Největší zatížení stolu	100000 N
Délka lože	8000 mm
Otáčky fréz. vřetena	10 – 500 min <sup>-1</sup>
Půdorysná plocha stroje	8200 x 5620 mm

Srdcovky se obráběly destičkami RNMN 120400T z CBN firmy BONAR a to jak na hrubo tak na jemno.

Tyto destičky jsou kulaté, bez utvářeče třísek. Parametry a obrázek břitové destičky jsou uvedeny na obr. č. 14, v tab. č. 2.

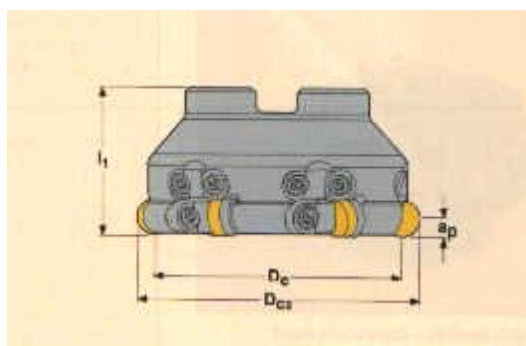
Tab. č. 2 Parametry destiček

Označení	$s_m$ [mm·min <sup>-1</sup> ]	$a_p$ [mm]	$v_c$ [m/min]	Velikost		Úhel hřbetu [°]
				d [mm]	s [mm]	
RNMN 120400T	45 – 50	0,2 – 0,3	60 – 70	12,7	4,76	0



Obr. č. 14 Destička

Tato destička se upíná do frézovací hlavy R 220.71 firmy SECO (obr. č. 15, tab. č. 3).



Obr. č. 15 Fréza R 220.70

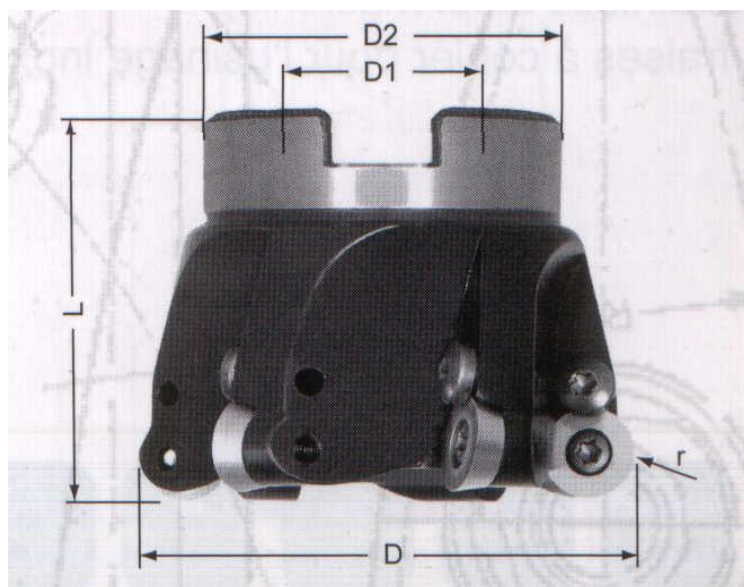
Tab. č. 3 Parametry frézy

Označení	Rozměry [mm]			Váha [kg]	Destička	Počet zubů
	D	$h_1$	$a_p$			
R 220.70 8200-09-12	200	63	4,5	8,5	RNMN 120 400T	10

### 3.1.2 Nové technologie frézování

Pro obrábění srdcovek se nyní ve Slévárnách používají frézy firmy RINECK. Jsou o polovinu levnější než frézy firmy PRAMET.

Konkrétně se používá frézy Aufsteckfräser R8-R10 RDHX (obr. č. 16, tab. č. 4).



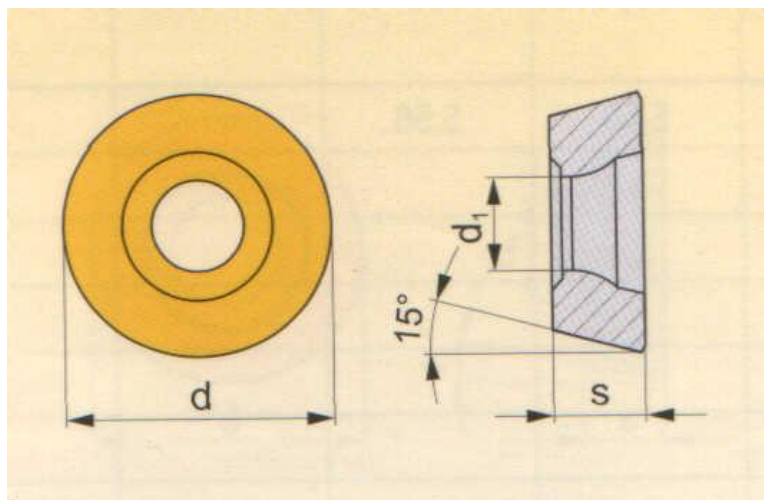
Obr. č. 16 Fréza Aufsteckfräser R8-R10 RDHX

Tab. č. 4 Parametry frézy [12]

Označení	Rozměry [mm]					Počet zubů	Destička
	D	D1	D2	L	DxS		
R8-R10RDHX	125	40	90	52	16x4,76	8	RDHX 1604MOT

Do těchto fréz se na opracování srdcovek používá výše zmiňovaných destiček firmy PRAMET s multivrstevnatým povlakem kubických karbidů typu

RDHX 1604 MOT (7025 + Marwin Black), jejichž parametry jsou uvedeny v tab. č. 5., obr. č. 17.



Obr. č. 17 Destička

Tab. č. 5 Parametry destiček [11]

Označení	Velikost [mm]			Posuv na zub [mm]		Hloubka řezu [mm]	
	Ø vnější d	Ø vnitřní d <sub>i</sub>	tloušťka s	f <sub>min</sub>	f <sub>max</sub>	a <sub>min</sub>	a <sub>max</sub>
RDHX 1604 MOT	16,0	5,2	4,76	0,20	0,40	1,00	4,00

Destička je kulatá s otvorem a je bez utvářeče třísek.

### 3.1.3 Vlastní sledování frézování srdcovek

V obráběcím centru sléváren jsem se zaměřil na sledování opracovávání konkrétních výrobků z manganové oceli (srdcovek).

Údaje zjištěné během obrábění a jeho průběh jsem zaznamenal v následujících tabulkách (tab. č. 6, tab. č. 7).

Byly sledovány tři typy srdcovek a to 3 kusy typu 6630 A (obr. č. 18), 8 kusů typu 6631 A (obr. č. 19) a jeden kus typu 2640 A (obr. č. 20). Výkres řezu srdcovky (pro všechny tři typy stejný) je uveden v příloze č. 1.





Obr. č. 18 Srdcovka typu 6630 A



Obr. č. 19 Srdcovka typ 6631 A





Obr. č. 20 Srdcovka typu 2640 A

Tab. č. 6 Parametry frézovaných srdcovek

Označení a typ obrobku	Materiál	Délka [mm]	Šířka [mm]	Výška [mm]	Váha [kg]	Tvrдость [HB]
6630 A	13 Mn-B	4000	470	183	910	173
6630 A	13 Mn-B	4000	470	183	910	176
6630 A	13 Mn-B	4000	470	183	910	180
6631 A	13 Mn-B	4000	470	183	940	179
6631 A	13 Mn-B	4000	470	183	940	183
6631 A	13 Mn-B	4000	470	183	940	186
6631 A	13 Mn-B	4000	470	183	940	179
6631 A	13 Mn-B	4000	470	183	940	170
6631 A	13 Mn-B	4000	470	183	940	182
6631 A	13 Mn-B	4000	470	183	940	188
6631 A	13 Mn-B	4000	470	183	940	174
2640 A	13 Mn-B	5375	505	188	1170	202

Tvrдость srdcovek na počátku obrábění se liší podle dodržení technologie slévárenské výroby srdcovek. Jednotlivé srdcovky se frézují 4krát vedle sebe, protože šířka frézované plochy je průměrně 500 mm a záběr frézy je 125 mm.

Tab. č. 7 Parametry frézování

Označení a typ obrobku	Posuv $s_m$ [mm·min <sup>-1</sup> ]	Ø hloubka řezu $a_p$ [mm]	Řezná rychlost $v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	Doba obrábění $T$ [min]
6630 A	107	2	58,8	765
6630 A	107	2	58,8	770
6630 A	107	2	58,8	770
6631 A	114	2	58,8	760
6631 A	114	2	58,8	765
6631 A	114	2	58,8	765
6631 A	114	2	58,8	775
6631 A	114	2	58,8	780
6631 A	114	2	58,8	770
6631 A	114	2	58,8	765
6631 A	114	2	58,8	780
2640 A	105	2	58,8	965

Použilo se destiček RDHX 1604 pro všechny sledované typy srdcovek (parametry destičky uvedeny v tab. 8). Řezná rychlost se nemění, používá se ta, která se osvědčila a to  $v = 58,8$  [m·min<sup>-1</sup>].

Doba obrábění byla měřena od upnutí obrobku do stroje po jeho vyjmutí.

Tab. č. 8 Parametry použité destičky

Destička	Šířka řezu [mm]	Délka třísky [mm]	Šířka třísky [mm]	Počet použ. ostří	Trvanlivost [min]	Životnost [h]
RDHX 1604	125	5 – 7	2	4	60	4

Destička nemá utvářeč třísky. Počet ostří je 4, takže se s ní frézovalo 4krát. Tříska je lámavá a odvod tepla je částečně do materiálu a částečně do třísky.

Sledoval jsem změnu tvrdosti zkoumaných srdcovek během frézování. Změřil jsem tvrdost před frézováním a pak ještě třikrát po každé odfrézované vrstvě. Změnu tvrdosti během frézování konkrétní srdcovky uvádí tabulka č. 9. K měření tvrdosti jsem použil přístroj Equo Tip 2 (příloha č. 2).

Tab. č. 9 Změna tvrdosti během frézování

Označení obrobku	Počáteční tvrdost [HB]	1. frézování [HB]	2. frézování [HB]	3. frézování [HB]
6630 A	173	201	227	253
6630 A	176	200	224	248
6630 A	180	211	236	257
6631 A	179	205	229	252
6631 A	183	210	232	258
6631 A	186	220	238	259
6631 A	179	207	229	252
6631 A	170	197	224	250
6631 A	182	208	232	257
6631 A	188	211	231	257
6631 A	174	204	228	251
2640 A	183	206	233	262

Z výše uvedené tabulky je patrné, že se tvrdost obrobku při frézování po každé odebrané třísce zvyšuje (již dříve zmiňovaná vlastnost Mn ocele).

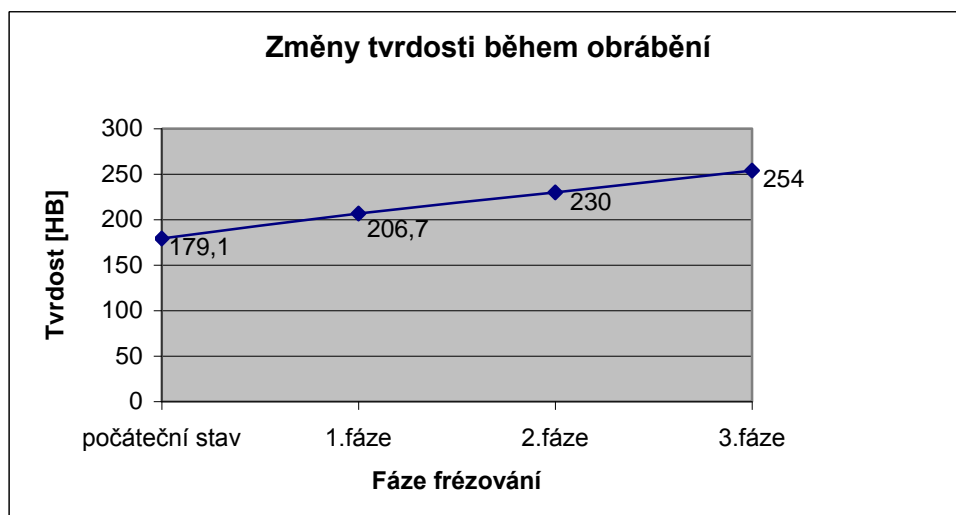
Pro názornost jsem z průměrných hodnot tvrdosti po každém frézování sestrojil graf (obr. č. 21).

Prům. počáteční tvrdost – 179,1 HB

Prům. tvrdost po 1. frézování – 206,7 HB

Prům. tvrdost po 2. frézování – 230,0 HB

Prům tvrdost po 3. frézování – 254,0 HB



Obr. č. 21 Změny tvrdosti obrobku během frézování

### 3.1.4 Hodnocení efektivity řezných nástrojů (frézovací hlavy)

Z naměřených hodnot při opracování některých srdcovek frézováním byly vypočítány náklady na jednotku odebraného materiálu (manganové oceli) nástrojem (frézou) s vyměnitelnou břitovou destičkou.

#### Výpočet nákladů frézování:

$$N_e = \frac{10^3 \cdot z \cdot \frac{N_p}{q}}{T \cdot U}$$

$z$  – počet břitových destiček

$N_p$  – pořizovací cena destičky

$q$  – počet ostří břitové destičky

$T$  – trvanlivost jednoho ostří

$U$  – úběr obráběného materiálu [ $\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ ]

$N_e$  – náklady na frézování v závislosti na jednotku odebraného materiálu [ $\text{Kč} \cdot \text{dm}^{-3}$ ]

$$U = \frac{B_0 \cdot s_m \cdot h_0}{10^3}$$

$B_0$  – konstantní šířka fréz. (soustruž.) plochy mm

$s_m$  – minutový posuv obrobku  $\text{mm} \cdot \text{min}$

$h_0$  – konstantní hloubka záběru mm

$$s_m = s_{zo} \cdot z \cdot n$$

$s_{zo}$  – posuv o zub

$n$  – otáčky

$$U = \frac{B_o \cdot s_{zo} \cdot z \cdot v \cdot h_o}{\pi \cdot D}$$

$D$  – průměr frézy (soustružnického nože)

$v$  – řezná rychlost [ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ]

$$N_e = \frac{10^3 \cdot \pi \cdot D \cdot N_p \cdot v^{m-1}}{C_v^n \cdot B_o \cdot h_o \cdot s_{zo} \cdot q}$$

### 3.1.5 Hodnocení současných a dřívějších způsobů obrábění

Pro srovnání je uveden výpočet nákladů  $N_e$  pro dřívější způsoby opracování.

Frézování – destička BONAR

$D = 200 \text{ mm}$

$s_{zo} = 0,6 \text{ mm}$

$z = 9$

$h_o = 1,5 \text{ mm}$

$v = 70 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

$B_o = 200 \text{ mm}$

$N_p = 2500 \text{ Kč}$

$q = 8$

$T = 180 \text{ min}$

$$U = \frac{B_o \cdot s_{zo} \cdot z \cdot v \cdot h_o}{\pi \cdot D}$$

$$U = \frac{200 \cdot 0,6 \cdot 9 \cdot 70 \cdot 1,5}{200 \cdot 3,14}$$

$$U = 180,57 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

$$N_e = \frac{10^3 \cdot z \cdot \frac{N_p}{q}}{T \cdot U}$$

$$N_e = \frac{10^3 \cdot 9 \cdot \frac{2500}{8}}{180 \cdot 180,57}$$

$$N_e = 86,53 \text{ Kč} \cdot \text{dm}^{-3}$$

### 3.1.6 Hodnocení nových způsobů obrábění

Náklady byly vypočítány podle použité destičky a podle naměřených hodnot při frézování.

Frézování srdcovek – destička PRAMET

$$D = 125 \text{ mm}$$

$$s_{zo} = 0,4 \text{ mm}$$

$$z = 8$$

$$h_0 = 2 \text{ mm}$$

$$v = 58,8 \text{ m} \cdot \text{mm}^{-1}$$

$$B_0 = 125$$

$$N_p = 224,4 \text{ Kč}$$

$$q = 4$$

$$T = 60 \text{ min}$$

$$n = 150 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000}$$

$$v = \frac{3,14 \cdot 125 \cdot 150}{1000}$$

$$v = 58,8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$U = \frac{B_o \cdot s_{zo} \cdot z \cdot v \cdot h_o}{\pi \cdot D}$$

$$U = \frac{125 \cdot 0,4 \cdot 8 \cdot 58,8 \cdot 2}{125 \cdot 3,14}$$

$$U = 119,85 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

$$N_e = \frac{10^3 \cdot z \cdot \frac{N_p}{q}}{T \cdot U}$$

$$N_e = \frac{10^3 \cdot 8 \cdot \frac{224,4}{4}}{60 \cdot 119,58}$$

$$N_e = 46,80 \text{ K}\check{\text{c}} \cdot \text{dm}^{-3}$$

## 3.2 Soustružení

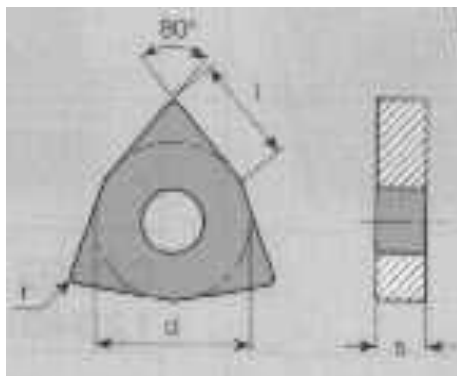
### 3.2.1 Soustružení podle současné a starší technologie

Soustružením se obrábějí drtící kužele pro mlýny. Obrábějí se postupně a to na hrubo a pak na jemno.

a) Na hrubo se používaly destičky z povlakovaných slinutých karbidů (PSK) WNMA 130616, firmy ISCAR (tab. č. 10, obr. č. 22). Nožový držák pro destičky WNMA je PSKNR/L – také podle ISCAR.

Tab. č. 10 Parametry destičky WNMA 130 616

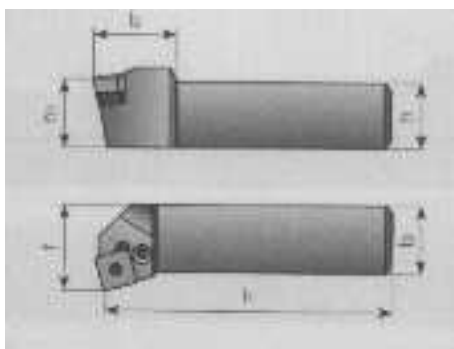
Označení	$s_o$ [mm·ot <sup>-1</sup> ]	$a_p$ [mm]	$v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	Velikost		Úhel hřbetu [ ° ]
				délka řez břitu [mm]	tloušťka [mm]	
WNMA 130616	0,80	3,0 – 8,0	150 - 400	19,05	6,35	0



Obr. č. 22 Destička WNMA 130616

Destička používaná pro hrubování je bez utvářeče třísek a s otvorem.

Nožový držák pro destičky WNMA 130616 je PSKNR/L (fa ISCAR) (obr. č. 23, tab. č. 11).



Obr. č. 23 Nožový držák PSKNR/L

Tab. č. 11 Parametry držáku

Označení	$h = h_1$	$b$	$l_1$	$l_2$	$f$	$\gamma$	destičky
PSKNR/L 2525M - 12	25	25	150	25	32	- 6°	WNMA 130616

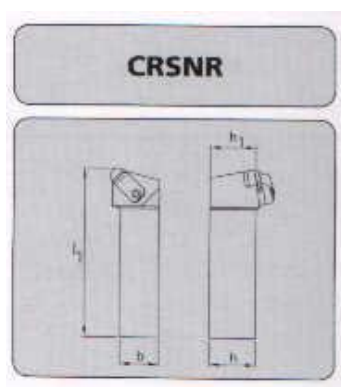
b) Na jemno byly pro obrábění kuželů používány destičky z kubického nitridu boru (CNB) a to RNMN 120400T (BONAR), jejichž parametry i obrázek již byly uvedeny u frézování, kde se rovněž používaly.



Nožový držák do soustruhu pro tyto destičky se používá pod označením CRSNR (tab. č. 12, obr. č. 24).

Tab. č. 12 Parametry držáku – firma BONAR

Označení	$h = h_1$	$b$	$l_1$	$l_2$	$f$	$\gamma$	destičky
CRSNR	32	25	170	32	–	0	RNMN 120400T



Obr. č. 24 Nožový držák

### 3.2.2 Soustružení kuželů podle nové technologie

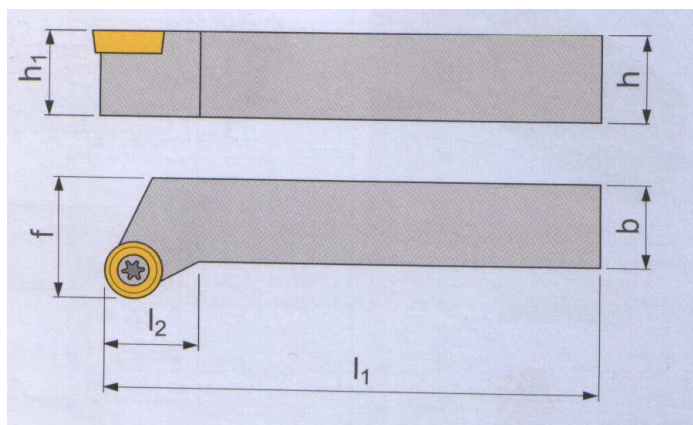
Drtící kužele pro mlýny se nejprve obrábějí:

a) na hrubo, tam se opět používá destiček z povlakovaných slinutých karbidů typu WNMA 130616 firmy ISCAR. Jejich obrázek a parametry už jsou uvedeny (obr. č. 22, tab. č. 10).

Nožový držák se používá také stejný jako u dřívějšího způsobu opracování. Jedná se o typ PSKNR/L, který je popsán tabulkou č. 11 a vyobrazen na obr. č. 23.

b) na jemno, kde se používají destičky firmy PRAMET s multivrstevnatým povlakem typu RDHX 1604 MOT. Používají se i u frézování jejich obrázek a parametry jsou uvedeny už ve dřívějším textu (obr. č. 17, tab. č. 5).

Jako nožového držáku pro soustružení na jemno drtících kuželů těmito břitovými destičkami se používá typ SRSCR/L (firmy PRAMET). Vnější nožový držák zobrazuje obr. č. 25, parametry shrnuje tabulka č. 13 [13].



Obr. č. 25 Nožový držák

Tab. č. 13 Parametry držáku [13]

Označení	Rozměry [mm]					Destička
	$h=h_1$	b	f	$l_1$	$l_{\max}$	
SRSCR/L	32	25	32	170	20	RDHX-1604

### 3.2.3 Vlastní sledování soustružení drtících kuželů

V obráběcím centru sléváren jsem se zaměřil na sledování opracování konkrétních výrobků z manganové oceli (drtící kužely).

Sledoval jsem soustružení 3 typů drtících kuželů pro mlýny.

Jednalo se o 3 kusy typu H 4000/B (obr. č. 26, výkres v příloze č. 3), 2 kusy H 4000/EC (obr. č. 27, výkres v příloze č. 4) a 3 kusy pod označením 1048291527 (obr. č. 28, výkres v příloze č. 5). Tyto typy se lišily rozměry a vahou, jak je uvedené v tab. č. 14.



Obr. č. 26 Drtící kužel pro mlýny H 4000/B



Obr. č. 27 Drtící kužel pro mlýny H 4000/EC



Parametry soustružení kuželů jsou uvedeny v následujících tabulkách. Soustružení kuželů na hrubo shrnuje tab. č. 15, soustružení kuželů na jemno tab. č. 16.

Tab. č. 15 Parametry soustružení kuželů na hrubo

Označ. obrobku	Posuv $s_o$ [mm·ot <sup>-1</sup> ]	Hloubka řezu $a_p$ [mm]	Řezná rychlost $v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]
H 4000/B	0,2	5	50
H 4000/B	0,2	5	50
H 4000/B	0,2	5	50
H 4000/EC	0,4	5	50
H 4000/EC	0,4	5	50
1048291527	0,3	5	50
1048291527	0,3	5	50
1048291527	0,3	5	50

Pro soustružení kuželů na hrubo použijeme destičku WNMA 130616 (ISCAR). Hrubování se opakuje se stejnou destičkou 3krát.

Oproti původnímu soustružení (s toutéž destičkou) se rychlost soustružení při hrubování zvýšila o 25 m·min<sup>-1</sup>, tzn. z 25 m·min<sup>-1</sup> na 50 m·min<sup>-1</sup>, což značně přispělo ke snížení nákladů soustružení.

Tab. č. 16 Parametry soustružení kuželů na jemno

Označ. obrobku	Posuv $s_o$ [mm·ot <sup>-1</sup> ]	Hloubka řezu $a_p$ [mm]	Řezná rychlost $v_c$ [m·min <sup>-1</sup> ]	Doba obrábění [h]
H 4000/B	0,2	1,5	45 – 55	22
H 4000/B	0,2	1,5	45 – 55	21
H 4000/B	0,2	1,5	45 – 55	22
H 4000/EC	0,2	2	45 – 55	16
H 4000/EC	0,2	2	45 – 55	16,5
1048291527	0,2	1,5	45 – 55	12
1048291527	0,2	1,5	45 – 55	12
1048291527	0,2	1,5	45 – 55	11

Použijeme destičky RDHX 1604 pro obrábění kužele na jemno, které se provádí na jednu třísku (jedenkrát).

Parametry destiček používaných při soustružení kuželů na hrubo a na jemno shrnuje tabulka č. 17.

Tab. č. 17 Parametry destiček použ. při soustružení kuželů

Destička	Délka třísky [mm]	Šířka třísky [mm]	Počet použ. ostří	Trvanlivost [min]	Životnost [min]
WNMA 130616	3 – 9	5	6	40	240
RDHX 1604	7 – 13	2	8	120	960

### 3.2.4 Hodnocení efektivnosti řezných nástrojů (soustružnického nože)

Z naměřených hodnot při opracování některých drtících kuželů soustružením byly vypočítány náklady na jednotku odebraného materiálu (manganové oceli) nástrojem (soustružnickým nožem) s vyměnitelnou břitovou destičkou.

#### Výpočet nákladů soustružení:

$$N_e = \frac{10^3 \cdot \frac{N_p}{q}}{T \cdot U}$$

$$N_e = [\text{Kč} \cdot \text{dm}^{-3}]$$

$N_p$  – cena břitové destičky Kč

$q$  – počet ostří břitové destičky

$T$  – trvanlivost jednoho ostří min

$U$  – úběr materiálu  $[\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}]$

$N_e$  – náklady na soustružení v závislosti na jednotku odebraného materiálu

$$U = v \cdot s_0 \cdot h_0$$

$v$  – řezná rychlost  $[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$

$s_0$  – konstantní posuv [mm]

$h_0$  – hloubka řezu [mm]

### 3.2.5 Hodnocení současných a dřívějších způsobů obrábění

Pro srovnání je uveden výpočet nákladů  $N_e$  pro dřívější způsoby opracování.

#### Soustružení

##### 1) na hrubo

destička ISCAR

$N_p = 333 \text{ Kč}$

$q = 6$

$T = 60 \text{ min}$

$v = 25 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

$s_0 = 0,3 \text{ mm}$

$h_0 = 5 \text{ mm}$

$$U_1 = v \cdot s_0 \cdot h_0$$

$$U_1 = 25 \cdot 0,3 \cdot 5$$

$$U_1 = 37,5 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

$$N_{e1} = \frac{10^3 \cdot \frac{N_p}{q}}{T \cdot U}$$

$$N_{e1} = \frac{10^3 \cdot \frac{333}{6}}{60 \cdot 37,5}$$

$$N_{e1} = 24,79 \text{ Kč} \cdot \text{dm}^{-3}$$

##### 2) na jemno

destička BONAR

$N_p = 2500 \text{ Kč}$

$q = 8$

$$T = 180 \text{ min}$$

$$v = 70 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$s_0 = 0,7 \text{ mm}$$

$$h_0 = 2 \text{ mm}$$

$$U_2 = v \cdot s_0 \cdot h_0$$

$$U_2 = 70 \cdot 0,07 \cdot 2$$

$$U_2 = 98 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

$$N_{e2} = \frac{10^3 \cdot \frac{N_p}{q}}{T \cdot U}$$

$$N_{e2} = \frac{10^3 \cdot \frac{2500}{8}}{180 \cdot 98}$$

$$N_{e2} = 17,72 \text{ Kč} \cdot \text{dm}^{-3}$$

Průměr nákladů na soustružení destičkou BONAR a ISCAR:

$$N_e = \frac{3 \cdot N_{e2} + N_{e1}}{4}$$

$$N_e = 23,02 \text{ Kč} \cdot \text{dm}^{-3}$$



### 3.2.6 Hodnocení nových způsobů obrábění

Náklady byly vypočítány podle použité destičky a podle naměřených hodnot při soustružení.

#### Soustružení kuželů

##### 1) na hrubo (ISCAR)

destička WNMA

$$N_p = 276 \text{ Kč}$$

$$q = 6$$

$$T = 40 \text{ min}$$

$$s_0 = 3 \text{ mm}$$

$$h_0 = 5 \text{ mm}$$

$$v = 50 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$U_1 = v \cdot s_0 \cdot h_0$$

$$U_1 = 50 \cdot 0,3 \cdot 5$$

$$U_1 = 75 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

$$N_{e1} = \frac{10^3 \cdot \frac{N_p}{q}}{T \cdot U}$$

$$N_{e1} = \frac{10^3 \cdot \frac{276}{6}}{40 \cdot 75}$$

$$N_{e1} = 15,33 \text{ Kč} \cdot \text{dm}^{-3}$$

##### 2) na jemno (PRAMET)

destička RDHX 1604

$$N_p = 224,4 \text{ Kč}$$

$$q = 8$$

$$T = 120 \text{ min}$$

$$s_0 = 0,2 \text{ mm}$$

$$h_0 = 2 \text{ mm}$$

$$v = 50 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$U_2 = v \cdot s_0 \cdot h_0$$

$$U_2 = 50 \cdot 0,2 \cdot 2$$

$$U_2 = 48 \text{ cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

$$N_{e2} = \frac{10^3 \cdot \frac{N_p}{q}}{T \cdot U}$$

$$N_{e2} = \frac{10^3 \cdot \frac{224,4}{8}}{120 \cdot 48}$$

$$N_{e2} = 4,87 \text{ Kč} \cdot \text{dm}^{-3}$$

Průměrné náklady soustružení drtících kuželů destičkami ISCAR a PRAMET:

$$N_e = \frac{3 \cdot N_{e1} + N_{e2}}{4}$$

$$N_e = \frac{3 \cdot 15,33 + 4,87}{4}$$

$$N_e = 12,71 \text{ Kč} \cdot \text{dm}^{-3}$$

### 3.3 Porovnání nákladů frézování a soustružení nových a současných způsobů obrábění

Hodnoty nákladů a jejich změn při frézování jsou uvedeny v tabulce č. 18, hodnoty nákladů a změn při soustružení shrnuje tab. č. 19.

Tab. č. 18 Porovnání hodnot nákladů při frézování

Druh obrábění	Náklady současné a dřívější [Kč·dm <sup>-3</sup> ]	Náklady nového způsobu obrábění [Kč·dm <sup>-3</sup> ]
frézování	86,53	46,80

Tab. č. 19 Porovnání hodnot nákladů při soustružení

Druh obrábění	Náklady současné a dřívější [Kč·dm <sup>-3</sup> ]	Náklady nového způsobu obrábění [Kč·dm <sup>-3</sup> ]
soustružení	23,02	12,71

Náklady na frézování i soustružení se snížily, což bylo dáno cenami nakupovaných břitových destiček, použitím jiných typů destiček a také zvýšením rychlosti opracování obrobku z Mn oceli.

Z tabulek vyplývá, že se náklady na odebranou objemovou jednotku u frézování snížily o 45,91 % a u soustružení o 44,79 %.

Z průměrné hodnoty odfrézovaného materiálu u srdcovek by se ušetřilo na řezných materiálech zhruba 391,- Kč na jeden kus, což při výrobě 200 kusů ročně činí 78200,- Kč.

U kuželů by se na řezných materiálech ušetřilo zhruba 52,- Kč na jeden kus, což při roční výrobě 200 kusů činí 10400,- Kč.

## 4 ZÁVĚR

Při obrábění odlitků z manganové oceli bylo použito nových řezných materiálů s nanostrukturním povlakem vytvářené speciální PVD technologií, která využívá odpařování pevného materiálu pomocí nízkonapětového oblouku. Konkrétně se jednalo o Marwin MT s chemickým složením  $Ti_{1-x}Al_xN-Si_3N_4$ .

Při obrábění odlitků z Mn oceli, a to železničních srdcovek frézováním a kuželů drtících mlýnů soustružením bylo zjištěno, že původně používané břitové destičky ze slinutých karbidů (SK) a kubického nitridu boru (CBN) nevyhovovaly.

Při obrábění frézováním a soustružením měly břitové destičky vysoké pořizovací náklady, zvláště u kubického nitridu boru, proto byly náklady na obrábění značně vysoké.

Nově navržené používání břitové destičky firmy PRAMET z materiálu 7025 Marwin 50 Black s vysokým obsahem kubických karbidů a opatřenými multivrstevnatým nanostrukturním povlakem se při obrábění železničních srdcovek a kuželů drtících mlýnů velmi osvědčily.

Jejich použití umožňuje zvýšit řezné rychlosti obrábění, čímž se zkracují obráběcí cykly. Pořizovací cena navrhovaných destiček je zhruba 10x nižší než u současně používaných řezných materiálů, čímž se sníží náklady.

Náklady na odebranou objemovou jednotku při obrábění nově navrhovanými destičkami se snižují oproti současně používaným břitovým destičkám u frézování až o 45,91 % a u soustružení o 44,79 %.

Protože jsou levnější, mají větší životnost a trvanlivost, jeví se jejich použití jako nejvhodnější pro opracování tvrdých odlitků z Mn oceli ve Slévárnách Třinec.

Touto cestou bych chtěl poděkovat panu Ing. Robertu Čepovi Ph.D. za odborné vedení a pomoc při zpracování diplomové práce.

Dále chci poděkovat panu Lubošovi Bártovi a panu Zbigniewu Labajovi za pomoc a umožnění provedení experimentální části diplomové práce a panu Ing. Ladislavu Walachovi za cenné rady a připomínky.

## 5 LITERATURA

- [1] Žižka I., 160 let slévárenské výroby v Třinci, Slévárnictví, 2-3, s. 61 (2002)
- [2] Slévárny Třinec a.s., Výroční zpráva 2008, poslední úprava 23. 3.2009. Dostupné na www: <<http://slev.trz.cz/download/vr2008.pdf>>.
- [3] Šlesár M., Kamarás L',Študium homogenizácie liatej Hadfieldovej ocele, Slévárnictví, 1, s. 18 (1968)
- [4] Mikovec M. a kol., Obrábění těžkoobrobitelných materiálů, SNTL, Praha, 1963, 316 s.
- [5] Vlach B.a kol., Technologie obrábění a montáží, SNTL, Praha, 1990, 464 s. ISBN 80-03-00143-9
- [6] Štrajbl J., Obráběcí stroje, SNTL, Praha, 1979, 619 s.
- [7] Mrkvica M., Přípravky a obráběcí nástroje – I. díl. Řezné nástroje, VŠB-TU Ostrava, Ostrava, 2006, 192 s. ISBN 80-7078-941-7
- [8] Humár A., Nové povlaky a povlakovací metody pro řezné nástroje. In *Mezinárodní konference „Nářadí 2003“: sborník z konference*. Zlín, 2003, s. 39-46. ISBN 80-7318-135-5.
- [9] Cermet for milling. MITSUBISHI Material Corporation, Hard Metal Product, Department, Tokyo, Japan, 2000, LA 043
- [10] Humár A., Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění, CCB spol.s r.o., Brno, 1995, 265 s. ISBN 80-85825-10-4
- [11] Katalog firmy PRAMET, Frézování, Šumperk, 2009, s. 1-296
- [12] Katalog firmy RINECK, Marienfeld, 2006, s. 1-203
- [13] Katalog firmy PRAMET, Soustružení, Šumperk, 2009, s. 1-324